Aus der Anaesthesieabteilung der Medizinischen Fakultät
der Freien Universität Berlin

Leiter: Professor Dr. med. Ernst Kolb

CO_2 MESSUNGEN IN DER ATEMLUFT NARKOTISIERTER NEUGEBORENER, SÄUGLINGE UND KLEINKINDER IM ALTER VON 0-5 JAHREN MIT DEM URAS-M UND EINEM ANALYSENSAMMLER (ENTWICKLUNG DES FRAKTIONSVERFAHRENS)

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der medizinischen Doktorwürde

an der

Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Uwe Schulz

aus Bielitz

1971

Druck:
ERNST-REUTER-GESELLSCHAFT
der Förderer und Freunde der Freien Universität Berlin e.V.
DISSERTATIONS-DRUCKSTELLE
1 Berlin 33, Garystr. 45

Aus der Anaesthesieabteilung der Medizinischen Fakultät
der Freien Universität Berlin

Leiter: Professor Dr. med. Ernst Kolb

CO_2 MESSUNGEN IN DER ATEMLUFT NARKOTISIERTER NEUGEBORENER, SÄUGLINGE UND KLEINKINDER IM ALTER VON 0-5 JAHREN MIT DEM URAS-M UND EINEM ANALYSENSAMMLER (ENTWICKLUNG DES FRAKTIONSVERFAHRENS)

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der medizinischen Doktorwürde

an der

Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Uwe Schulz

aus Bielitz

Dekan: Professor Dr. med. Wilhelm M a ß h o f f

Referent: Professor Dr. med. Ernst K o l b

Korreferent: Professor Dr. med. Heinrich W i e s e n e r

UNIVERSITEITSBIBLIOTHEEK - LEIDEN -

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Freien Universität Berlin.

Promoviert am: 25. Juli 1966

Meinem Vater und meiner Mutter
in Dankbarkeit gewidmet.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41535704_0019

Inhaltsverzeichnis

		Seite
I.	Beatmungsprobleme in der Säuglingsanaesthesie. Notwendigkeit einer Kontrolle der Beatmung.	1
II.	Möglichkeiten der CO_2-Kontrolle. Anforderungen an das Meßverfahren.	3
III.	CO_2-Messung in der Atemluft mit dem URAS-M.	4
IV.	Notwendigkeit zur Entwicklung eines Analysensammlers.	
	1. URAS-Meßbedingungen im Nebenstromverfahren.	5
	2. Begrenzung des Nebenstromverfahrens.	7
V.	Das Fraktionsverfahren als Möglichkeit der CO_2-Kontrolle beim Neugeborenen und Säugling.	
	1. Theoretische Überlegungen.	8
	2. Arbeitsweise und Aufbau des Analysensammlers.	12
	3. Versuchsanordnung zur Erprobung des Analysensammlers.	15
	4. Bedienung des Analysensammlers.	
	a) Druckeinstellung bei positiv-negativer Druckbeatmung	16
	b) Druckeinstellung bei intermittierender Überdruckbeatmung.	17
	c) Einfluß der Impulsdauer und Absaugleistung der Pumpe auf die Messung.	18
	5. Gegenüberstellung Fraktionsverfahren - Nebenstromverfahren.	
	a) Bei positiv-negativer Druckbeatmung	19
	b) Bei intermittierender Überdruckbeatmung.	20

Seite

6. Fehlerquellen und ihre Beseitigung.
a) Querempfindlichkeit des URAS-M gegenüber N_2O und Halothan. 20
b) Mischvorgänge am Abnahmestück. 21
c) Abhängigkeit der Anzeige von Druckschwankungen in der Meßkammer. 22
d) Volumenschwankungen im Meßsystem. 23
e) Notwendigkeit eines zweiten Ventils. 26
f) Kennwerte des Herion-Miniventils. 28
g) Änderung der Versuchsanordnung durch Einbau des Miniventils. 29
h) Endgültige Gegenüberstellung Fraktionsverfahren - Nebenstromverfahren. 31
7. Größe der abgesaugten Portion in Abhängigkeit von Impulsdauer und Pumpenleistung 32
8. Latenzzeiten der Anzeige in Abhängigkeit von
a) der Impulsdauer und Absauggeschwindigkeit der URAS-M-Pumpe 34
b) der Schlauchlänge und -weite 36
c) der Atemfrequenz 36
d) der Höhe des CO_2-Gehaltes des Analysengases 37

VI. Messungen an Neugeborenen, Säuglingen und Kleinkindern im Alter von 0 - 5 Jahren.
1. Vorbemerkungen. 39
2. Messungen der CO_2 in der Alveolarluft, Änderung der Beatmungsfrequenz. 43
3. Überwachung der Inspiration. Größe der Narkosefrischgaszufuhr beim Spülsystem. 49
4. Einzelbeobachtungen. 54
a) Beispiel für die Notwendigkeit einer Beatmung mit sehr hohen Frequenzen. 55

Seite

b) Drei Beispiele für eine Beeinflussung der Beatmung durch innere oder äußere Ursachen. 55

c) Überwachung einer 5 Tage dauernden künstlichen Beatmung eines Neugeborenen. 57

VII. Zusammenfassung. 60

VIII. Literaturverzeichnis. 62

IX. Abbildungen. 65

X. Zeichnungen. 71

I. Beatmungsprobleme in der Säuglingsanaesthesie.

Notwendigkeit einer Kontrolle der Beatmung.

Die Zahl der Operationen an Neugeborenen und Säuglingen hat in den letzten Jahren deutlich zugenommen. In der Zeit von 1944 bis 1959 hat sich der Anteil der 0-5 Monate alten Operierten an einer chirurgischen Universitätsklinik in Deutschland um das Fünffache auf 1,5 % gesteigert (14). An diesem Aufschwung ist die moderne Anaesthesie nicht unmaßgeblich beteiligt (17). Durch die Entwicklung spezieller Narkoseverfahren unter Berücksichtigung der physiologischen Besonderheiten des Säuglings ist es gelungen, optimale Operationsbedingungen zu schaffen und damit das Operationsrisiko auch bei ausgedehnten und langwierigen Eingriffen zu vermindern.

Allgemein ist für den Säugling bei größeren Eingriffen neben ausreichender Narkosetiefe eine Relaxation und damit eine endotracheale Intubation erforderlich (19, 22). Durch den kleinen Tubus von wenigen Millimetern Durchmesser wird beim Säugling eine Stenose der Atemwege hervorgerufen, was nach dem Gesetz von HAGEN-POISEUILLE zu einer beträchtlichen Erhöhung des Atemwiderstandes führt, die dann eine positiv-negative Druckbeatmung (PNPB)* zur Vermeidung einer Hypoventilation notwendig macht. Auch eine Kreislaufbelastung durch Erhöhung des intrathorakalen Druckes kann durch positiv-negative Druckbeatmung (PNPB) vermieden werden (22). Bei der Wechseldruckbeatmung (WDB) als besonderer Form der positiv-negativen Druckbeatmung (PNPB) ist der Beatmungsdruck im Mittel Null. Eine Beeinträchtigung des venösen Rückflusses zum Herzen ist dann nicht zu erwarten.

---

* PNPB: Positive-Negative Pressure Breathing

HENNEBERG und KOLB (12) empfehlen zur Beatmung intubierter Säuglinge und Kleinkinder das Spülsystem (AYRE-MAGILL) in Kombination mit einem Pulmomaten zur automatischen, in Kombination mit einem Atembalg zur manuellen positiv-negativen Druckbeatmung (PNPB). Diese leichte und übersichtliche Apparatur vermeidet bei ausreichend großem Frischgaszufluß jegliche Rückatmung bei minimalem Totraum und geringstem Strömungswiderstand.
Die Grundvoraussetzung für jede Anwendungsform der Muskelrelaxantien ist jedoch die Möglichkeit zu einer kontrollierten Beatmung (15). Die unter physiologischen Bedingungen tätigen Reglerkreise und Steuermechanismen der Atmung verlieren während der Narkose an Wirksamkeit oder fallen durch Stillegung der Atemmuskulatur aus. Die Durchführung der Beatmung bzw. die Übernahme der Steuer- und Kontrollfunktionen fallen dem Anaesthesisten zu, der jetzt die Beatmungsgrößen auf den aktuellen Bedarf des Patienten einzustellen hat.
Zur exakten Beurteilung einer einwandfreien Beatmung kann die Kontrolle des Sauerstoff- und Kohlendioxydgehaltes im Blut als Erfolgsorgan der Atmung herangezogen werden. Klinische Beobachtungen, wie Veränderung der Pulsfrequenz und des Blutdruckes durch Erhöhung der CO_2-Spannung im Blut oder das Auftreten einer Cyanose, sind zu ungenau oder lassen erst massive Veränderungen erkennen. Unter Voraussetzung eines normalen Hämoglobingehaltes und normaler peripherer Sauerstoffausnutzung tritt eine Cyanose erst auf, wenn die arterielle Sauerstoffsättigung auf etwa 80 % absinkt. Das entspricht einem O_2-Druck von ca. 60 mm Hg bei einem CO_2-Druck von etwa 80 mm Hg (1). Das Blut der kleinen Hautgefäße enthält dann etwa 5 g reduziertes Hämoglobin pro 100 ml Blut. Es muß also schon eine stark ausgeprägte Hypoxaemie vorhanden sein, bis eine Cyanose eintritt.

Führt man eine CO_2-Kontrolle zur Narkoseüberwachung durch, dann können damit allein schon wichtige Aussagen gemacht werden. Erfolgt eine Beatmung mit reinem Sauerstoff, so läßt sich eine alveoläre Hypoventilation sicher nur durch Bestimmung der CO_2 feststellen. Eine genügende Versorgung des Organismus mit O_2 ist bei normalem Hämoglobingehalt, normalen Lungen- und Kreislaufverhältnissen und normalem bzw. erhöhtem O_2-Partialdruck von der alveolären Ventilation abhängig, die wiederum durch Bestimmung der CO_2 kontrolliert werden kann. Daneben nimmt die CO_2 eine zentrale Stellung im Säure-Basen-Haushalt des Organismus ein, so daß eine Kontrolle nicht nur intra-, sondern auch postoperativ wichtig sein kann.

II. Möglichkeiten der CO_2-Kontrolle. Anforderungen an das Meßverfahren.

Grundsätzlich kann zur Kontrolle der alveolären Ventilation die CO_2 im Blut und in der Alveolarluft bestimmt werden. Der CO_2-Gehalt im arteriellen Blut ist mit dem CO_2-Gehalt der Alveolarluft dann identisch, wenn keine Diffusionshindernisse in der Lunge und normale Kreislaufverhältnisse vorherrschen. Man kann dann vom CO_2-Gehalt im arteriellen Blut auf den in der Alveolarluft und umgekehrt schliessen, so daß unter den genannten Voraussetzungen beide Methoden die gleiche Aussagefähigkeit besitzen.

Geht man von den Anforderungen aus, die an ein Meßverfahren zur Narkoseüberwachung zu stellen sind, so ergeben sich folgende allgemeine Bedingungen:

1. Ausreichende Genauigkeit, dem Meßvorgang angepaßte Empfindlichkeit.
2. Möglichkeit einer gleichzeitigen und fortlaufenden Messung.

3. Keine Beeinflussung und Rückwirkung auf die zu überwachende Person.
4. Einfache und unaufwendige Bedienung.

Hieraus ergibt sich, daß die Methoden der Blutgasanalyse während der Säuglingsanaesthesie weniger geeignet sind, ebenso wie die klassische Atemgasanalyse nach HALDANE-PRIESTLEY. Eher in Frage kommen die technischen Verfahren zur Atemgasanalyse, von denen der URAS - M (Ultrarot-Absorptionsschreiber) die meisten der oben gestellten Bedingungen erfüllt. Aufgrund seiner Genauigkeit, Empfindlichkeit, geringen analysentechnischen Latenz von 0,15 sec, seiner Verwendbarkeit für eine gleichzeitige und fortlaufende CO_2-Messung hat er sich gegenüber anderen Verfahren (Carbovisor u.a.) durchgesetzt und große Anwendung bei atemphysiologischen Untersuchungen und atemfunktionellen Überwachungen gefunden (7, 8, 9, 11).

III. CO_2-Messung in der Atemluft mit dem URAS-M.

Eine CO_2-Messung mit dem URAS-M ist einmal im Hauptstromverfahren, dann im Nebenstromverfahren und schließlich im Teilstromverfahren möglich (8).
Beim H a u p t s t r o m - V e r f a h r e n atmet der Patient durch die möglichst nah an den Mund angebrachte Analysenkammer ein und aus. Der Nachteil ist eine Vergrößerung des Totraums durch die Analysenkammer und eine damit verbundene Rückwirkung auf die Atemregulation. Bei dem geringen Atemvolumen des Säuglings entfallen sowohl das großkammerige, heute nicht mehr hergestellte Modell, (8 ml) als auch das kleinkammerige (reines Volumen der Meßkammer ohne Zu- und Ableitungswege 0,23 ml) in dieser Anordnung, letzteres besonders wegen Erhöhung des Atemwiderstandes.

Beim N e b e n s t r o m - V e r f a h r e n befindet sich der kleinkammerige Analysator im Nebenschluß. Durch eine Pumpe wird mit einer bestimmten Geschwindigkeit das Analysengas durch den Analysator hindurch von einer nahe am Mund des Patienten befindlichen Ableitungsstelle abgesaugt und dem Beatmungssystem wieder zugeführt. Fehlermöglichkeiten ergeben sich, wenn die Atemgeschwindigkeit von der Absauggeschwindigkeit überschritten wird. Diese Methode hat allgemein ihre Anwendung zur fortlaufenden Überwachung gefunden, da sie die Atmung auch bei langzeitigen Kontrollen nicht behindert oder beeinflußt.

Beim T e i l s t r o m - V e r f a h r e n wird über einen Verteilermechanismus über definierte Widerstände ein Teil der Atemgase zur Analyse durch die Meßkammer geführt. Dabei ist die Größe der Teilströme umgekehrt proportional dem Widerstand. Berücksichtigt man die Verhältnisse beim Säugling, so ergibt sich auch hier zu der Vergrößerung des Totraums eine Erhöhung des Atemwiderstandes.

IV. Notwendigkeit zur Entwicklung eines Analysensammlers.

1) URAS-Meßbedingungen im Nebenstrom-Verfahren.

Nach GÖPFERT und HENNEBERG (8) ist für eine genaue Anzeige des URAS-M eine richtige Durchspülung der Meßkammer erforderlich, die bei gegebenem Rauminhalt der Kammer von 0,23 ml von der Strömungsgeschwindigkeit des zu analysierenden Gases abhängt. Die analysentechnisch bedingte Latenz des Gerätes selbst beträgt, wie bereits erwähnt, 0,15 sec. Dazu kommt noch eine Verzögerung durch die Dauer des Spülvorganges der Meßkammer. Diese charakteristischen Spül- und Mischvorgänge erlauben nur unter bestimmten Voraussetzungen eine exakte Messung. GÖPFERT und HENNEBERG haben diese Verhältnisse beim URAS-M durch

die Einführung der Meßgrößen "Füllzeit" und "Füllvolumen" dargestellt (8). Unter Füllzeit wird die Zeit verstanden, die vom ersten Moment des Gaseintritts in die Kammer bis zum vollen Ausschlag vergeht, d.h. bis zur vollständigen Füllung der Kammer mit dem zu analysierenden Gas. Das Füllvolumen ist entsprechend das für diesen Vorgang benötigte Volumen. Diese beiden Größen wurden als Funktion der Strömungsgeschwindigkeit bestimmt und ergaben eine minimale Füllzeit von ca. 0,3 sec. bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 30-40 ml pro sec. Das Füllvolumen beträgt dabei 10-12 ml, d.h. das zu analysierende homogene Gasgemisch muß mindestens in diesem Volumen vorliegen. Dazu tritt durch die Zuführungswege zur Kammer auch noch eine Verzögerung und weitere Vermischung ein. Bei zu niedriger Durchströmungsgeschwindigkeit werden die Extremwerte verwischt, d.h. die Maxima werden zu niedrig und die Minima zu hoch angezeigt. Das Volumen und die durch Atemfrequenz und Atemzeitquotient gegebene Dauer der zu messenden Atemphase müssen erheblich größer sein als Füllzeit und Füllvolumen des URAS-M, sonst ist eine genaue Messung nicht möglich.

Bei der Meßmethode zur Narkoseüberwachung Erwachsener (11) mit dem Kleinkammer-URAS-M im Nebenschluß wird vom Atemgasstrom kontinuierlich das Analysengas durch eine Pumpe mit einer Absauggeschwindigkeit von 15-25 ml pro sec. in die Meßkammer gesaugt. Das entspricht einer Füllzeit von 0,4 - 0,5 sec., die bei einer Atemfrequenz des Erwachsenen von ca. 15/min. die Zeitspanne der Inspiration oder der alveolären Exspiration nicht überschreitet. Das Volumen und die Zeit der alveolären Exspiration sind ausreichend groß, so daß auch die letzten Portionen der Alveolarluft, die am Ende der Exspiration unter verminderter Geschwindigkeit zur Ausatmung kommen, sicher erfaßt werden können.

Die URAS-M-Kurve präsentiert sich dann in ihrer typischen Form mit raschem Anstieg auf den alveolären Wert und einer Plateaubildung, die bei Beginn der Inspiration scharf zum Abbruch kommt.

2) Begrenzung des Nebenstromverfahrens.

Bei den beim Neugeborenen und Säugling vorliegenden Ventilationsgrößen müßte die obengenannte Absaugleistung der Pumpe nicht nur beibehalten, sondern sogar beträchtlich erhöht werden. Die Atemfrequenz beträgt beim Neugeborenen ca. 50/min. (28-69/min.), beim Säugling (Durchschnittsalter 0,2 Jahre) ca. 63/min. (40-87/min.). Das Atemzugvolumen dieser beiden Altersgruppen beträgt 17,3 bzw. 17,5 ml (2). Bei Kindern im Durchschnittsalter von 2,7 Jahren wurde ein Atemzugvolumen von 121,5 ml (76,7 - 148,9 ml) und eine Atemfrequenz von 23,6/min. (18,9 - 30,3/min.) gemessen (2). Unter Zugrundelegung eines Verhältnisses Totraum : Atemvolumen wie 1 : 2 wird die Zeit der alveolären Exspiration auf 2/3 der Gesamtexspiration geschätzt. Der Atemzeitquotient nähert sich bei hohen Frequenzen 1,0, so daß von der Atemfrequenz auf die Dauer der alveolären Exspiration geschlossen werden kann. HENNEBERG (13) stellte die alveoläre Exspirationszeit in Abhängigkeit von der Atemfrequenz zusammen mit der Füllzeitkurve des URAS -M graphisch dar und fand, daß bei einer Atemfrequenz von über 60/min. eine Messung sicher irreal ist und bei einer Frequenz von über 40/min. erhebliche Fehler zu erwarten sind, da bei diesen hohen Frequenzen die minimale Füllzeit des URAS-M erreicht oder überschritten wird (Abb. 1).

Neben den Schwierigkeiten von Seiten der Frequenz reicht auch das Atemzugvolumen des Neugeborenen und Säuglings für eine Analyse nicht aus (13). Bei einer Absauggeschwindigkeit von 30 - 40 ml pro sec., bei der die minimale Füllzeit des URAS-M von 0,3 sec. erreicht wird, beträgt das Füllvolumen 10 - 13 ml. Wird vom Atemzugvolumen von 17,3 bzw.

17,5 ml die Totraumluft abgezogen, so bleiben gerade 10 ml, die zur alveolären CO_2-Messung benötigt werden. Dazu nimmt die Exspirationsgeschwindigkeit gegen Ende der Ausatmung ab, so daß gerade hier die Gefahr des Ansaugens von Nebenluft aus dem Spülsystem besteht. Eine endexspiratorische CO_2-Konzentration kann mit diesen und größeren Volumina nicht gemessen werden. Erst im Alter von 2,7 Jahren haben die Kinder bei einer Atemfrequenz von 24/min. auch ein Atemzugvolumen von 121 ml, die verwertbare Ergebnisse mit dem URAS-M im üblichen Nebenstromverfahren erwarten lassen. Bei Neugeborenen und Säuglingen werden Dauer und Volumen der Alveolarfraktion überschritten und eine Messung der Alveolarluft fehlerhaft oder unmöglich. Dieses Problem wäre durch eine Veränderung der Meßkammer mit dem Ergebnis einer minimalen Füllzeit unter 0,2 sec. zu lösen (13). Eine andere Möglichkeit unter Beibehaltung des jetzigen Gerätes bietet das Fraktionsverfahren mit dem Analysensammler.

V. Das Fraktionsverfahren als Möglichkeit der CO_2-Kontrolle beim Neugeborenen und Säugling.

1) Theoretische Überlegungen

Nach dem Vorausgegangenen ergibt sich die Notwendigkeit einer neuen Meßmethode, die unter Berücksichtigung der atemphysiologischen Besonderheiten des Neugeborenen und Säuglings sicher den CO_2-Gehalt der Inspirations- wie der Exspirationsluft fortlaufend und gleichzeitig mißt und jederzeit ohne großen Aufwand als Kontrollverfahren einzusetzen ist.

Stellt man sich den Atemzyklus vor, so findet sich bei gleichmäßiger Atmung oder Beatmung unter Beibehaltung der Atemmittellage an immer derselben Stelle des Zyklus die gleiche und für diese Atemphase typische Zusammensetzung

der Atemgase. Reichen nun wie beim Neugeborenen und Säugling die Dauer eines einzelnen Atemzuges und die Größe eines Atemzugvolumens für vollständige Füllung und Spülung der Meßkammer nicht aus, so bietet sich während mehrerer Atemzüge die Sammlung kleiner Portionen von Atemluft aus immer der gleichen Atemphase an. Interessiert z.B. die Messung der alveolären CO_2-Konzentration, so wird immer an der gleichen Stelle des Atemzyklus, in diesem Falle am Ende der Exspiration kurz vor dem Wechsel in die Inspiration, bei jedem Atemzug eine kleine Gasprobe entnommen. Diese Probe muß im Hinblick auf das geringe Atemvolumen des Säuglings sehr klein sein und wegen der hohen Atemfrequenz in einer möglichst kurzen Zeitspanne entnommen werden, damit die zu beurteilende Atemgasfraktion, in diesem Falle die Alveolarluft, auf keinen Fall zeitlich oder mengenmäßig überschritten und die Messung durch qualitativ anders zusammengesetzte Portionen oder durch Frischgas verfälscht wird. Diese einzelnen, bei jedem Atemzug entnommenen Proben gleicher Zusammensetzung addieren sich in relativ kurzer Zeit zu einem Volumen, das die Meßkammer vollständig füllt und somit fehlerlos analysierbar ist.

Bei dem beim Erwachsenen üblichen Nebenstromverfahren werden die in ihrer Zusammensetzung unterschiedlichen Atemgase in der Folge und der Zeit, in der sie ein- bzw. ausgeatmet werden, durch die Meßkammer gesaugt und mit einer minimalen Latenz zur Anzeige gebracht. Um die wichtigen Extremwerte (Alveolarluft, Inspirationsluft) unverfälscht und fehlerfrei zu registrieren, muß die Kammer entsprechend der notwendigen Füllzeit mit einem hohen Volumen durchspült werden. Diese großen Volumina, die von jeder Atemgasfraktion vorhanden sein müssen, werden beim Fraktionsverfahren nicht mehr benötigt. In die Meßkammer werden diskontinuierlich aus einer gewählten Atemphase bei jedem Atemzug Gasproben entnommen. Die anders zusammen-

gesetzten und nicht interessierenden Anteile der Atemluft gelangen nicht in das Meßsystem, verfälschende Mischeffekte bei ungenügenden Spülvorgängen können nicht auftreten. Das Analysengas aus einer bestimmten Atemphase wandert diskontinuierlich mit einer Geschwindigkeit, die von der Beatmungsfrequenz und dem Volumen der entnommenen Probe abhängt, durch die Meßkammer.

Zur Steuerung der Probenentnahme kann man Größen wie z.B. den Beatmungsdruck heranziehen. Er verändert sich im Ablauf des Atemzyklus in genügend großer Breite. Bei der Beatmung entsprechen dem Atemzyklus in seinem zeitlichen Ablauf ganz bestimmte Druckveränderungen, d.h. jede Atemphase mit ihrer typischen Atemgasqualität wird durch einen bestimmten immer wiederkehrenden Druckwert bei gleichmäßiger Atmung repräsentiert.

Ein großer Vorteil des Nebenstromverfahrens ist, daß beim Erwachsenen jeder einzelne Atemzug in seiner wechselnden Zusammensetzung und - bei genügend schneller Schreibung - der Anstieg der CO_2 im Verlauf des Atemzuges mit der typischen Plateaubildung beurteilt werden kann. Das ist für physiologische Untersuchungen sehr wertvoll. Für fortlaufende Messungen zur Narkoseüberwachung werden die Ergebnisse mit dem URAS-M-Schreiber bei langsamer Förderung des Papiers registriert. Es sind dann auch nur noch die Extremausschläge zu erkennen. Dasselbe erreicht man mit dem Fraktionsverfahren, indem zunächst die Inspiration registriert und anschließend nach Umschaltung die Alveolarluft zur Anzeige gebracht wird. Es ergibt sich dann die untere bzw. obere Begrenzungslinie des bei Messung im Nebenstromverfahren und langsamer Schreibung erhaltenen Bandes (Abb.2). Auch den Verlauf eines einzelnen Atemzuges wird man darstellen können. Verteilt man die Abnahme der Proben gleichmäßig in kurzen Abständen über den Atemzyklus, dann läßt sich aus den einzelnen Zwischenwerten die typische CO_2-

Kurve des Nebenstromverfahrens bei schneller Schreibung reproduzieren.

Tabelle 1

Fraktionsverfahren:

A.S.Einst. cm H_2O	CO_2 Vol.%	A.S.Einst. cm H_2O	CO_2 Vol.%
(+) - 5	0,2	(-) + 12	2,2
- 2	0,2	+ 8	2,9
+ 2	0,15	+ 4	3,1
+ 6	0,1	0	3,4
+ 10	0	- 4	3,5
+ 12	0	- 5	3,5
Inspiration		Exspiration	

Vergleichsmessung im Nebenstromverfahren bei gleicher Beatmung:

Inspiration: 0% CO_2 Exspiration: 3,5% CO_2

Tab. 1: CO_2-Messung nach dem Fraktionsverfahren bei verschiedener Druckeinstellung während automatischer positiv-negativer Druckbeatmung (PNPB). (Erklärung der Einstellung des Analysensammlers S. 16). Rekonstruktion der CO_2-Kurve im Verlauf eines Atemzuges. Die Werte wurden mit der endgültigen Meßanordnung nach Elimination der Fehlerquellen bei einem Erwachsenen gewonnen, der mit einem Dräger-Spiromaten mit Drucken von -5 bis +12 cm H_2O beatmet wurde. Die Extremwerte mit dem Nebenstromverfahren (Inspiration 0%, Exspiration 3,5% CO_2) wurden unmittelbar nach Registrierung der entsprechenden Werte mit dem Fraktionsverfahren erhalten. Um mit Hilfe der Zwischenwerte des Fraktionsverfahrens die bei schneller Schreibung mit dem Nebenstromverfahren erhaltenen Kurven reproduzieren zu können, fehlen gleichzeitige Registrierungen des Beatmungsdrucks, die noch nicht möglich waren.

Für die Überwachung der Beatmung sind vorwiegend die Extremwerte von Interesse. Der Anstieg der CO_2 im Verlauf einzelner Atemzüge interessiert weniger. Bei gleichmäßiger Beatmung wird eine Änderung nur nach mehreren Atemzügen auftreten. Diese Verschiebung des inspiratorischen oder alveolären CO_2-Wertes kann auch vom Fraktionsverfahren erfaßt werden. Die Anzeigelatenz beim Fraktionsverfahren in Abhängigkeit von verschiedenen Größen wird weiter unten genauer beschrieben.

2) Arbeitsweise und Aufbau des Analysensammlers

Um nach den vorangegangenen theoretischen Überlegungen die CO_2-Messung auch bei Neugeborenen und Säuglingen durchführen zu können, benötigt man ein Gerät, das gesteuert die Entnahme von kleinen Gasproben aus der Atemluft vornimmt. Zur Steuerung des Gerätes werden die zur Beatmung von Neugeborenen und Säuglingen erzeugten Druckschwankungen in Form von positiv-negativem Druck (PNPB) oder intermittierendem Überdruck (IPPB)* herangezogen. Der an der Anaesthesieabteilung der Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin entwickelte Analysensammler besteht aus einem von minus 50 bis plus 50 cm H_2O stufenlos einstellbaren Druckschalter 1, einem Zeitrelais 2, das in vier Stufen für eine Impulsdauer von 5/100 bis 20/100 sec einstellbar ist, einem Umschalter 3 für steigenden oder fallenden Druck und einem Magnetventil 4, welches vom Druckschalter über das Zeitrelais wählbar verschieden lange Stromimpulse erhält (Zeichnung 1).

Der Druckschalter 1 ist beliebig für positive bis negative Drucke einzustellen und steht mit dem Beatmungssystem in Verbindung. Er besteht aus einer Barometer-Druckdose und

---

* IPPB: Intermittent Positive Pressure Breathing

einer Stellschraube, die mehr oder weniger der Druckmembran in der Dose genähert wird. Ist der an der mit einer Skala versehenen Stellschraube eingestellte Druckwert in der Dose erreicht, dann wird ein Kontakt ausgelöst und das Magnetventil 4 geöffnet. Die Erregungsdauer und somit die Öffnungsdauer des Magnetventils 4 ist durch den Zeitschalter wählbar. Die Zeiten werden konstant durch vier Kondensatoren geregelt.

Um mit dem Druckschalter 1 auch wirklich jeden Punkt der Druckkurve für sich abgreifen zu können und entsprechend einen Impuls zu erhalten, ist noch ein Umschalter 3 angebracht, der es ermöglicht, den Kontakt wahlweise bei Druckanstieg oder Druckabfall auszulösen. Zieht man folgende hypothetische Kurve der positiv-negativen Druckbeatmung (PNPB) (Zeichnung 2, I) als Beispiel heran, so wird jeweils an zwei Stellen der Kurve, im ansteigenden und abfallenden Teil, der gleiche Druckwert, hier z.B. +5 cm H_2O, erreicht. Zeichnet man bei dieser Druckkurve die Bereiche der Exspiration und Inspiration ein, so zeigt sich, daß diese beiden Punkte zwei vollkommen verschiedenen Atemphasen angehören. Durch den Umschalter 3 ist eine Wahl des einen oder anderen Punktes exakt möglich. Alle Druckpunkte, die sich im ansteigenden Teil der Kurve befinden, kommen bei (+)Stellung des Umschalters 3 zur Auslösung, bei (-)Stellung sind es alle im abfallenden Teil der Kurve befindlichen Druckwerte.

Bei kombinierter Anwendung von Druckschalter 1 (stufenlose Druckeinstellung in einem Bereich von minus 50 bis plus 50 cm H_2O) und Umschalter 3 läßt sich beliebig jeder Punkt der Druckkurve und damit der gesamte Beatmungszyklus abgreifen. Der Zeitschalter 2 ermöglicht es, in Abhängigkeit von der variablen Absaugleistung der URAS-M-Pumpe verschieden große Mengen an Analysengas pro Impuls abzusaugen.

Das Magnetventil 4 wird zwischen URAS-M-Meßkammer und URAS-M-Pumpe geschaltet. In Ruhestellung gestattet das Magnetventil der kontinuierlich laufenden Förderpumpe das Ansaugen von Raumluft. Während des Impulses schließt sich diese Öffnung, der Weg zur Meßkammer wird frei und eine Gasprobe in den Analysator gesaugt. Am Ende der Erregung des Ventils schließt sich dieser Weg wieder dicht ab, die Pumpe saugt bei Ruhestellung des Ventils Raumluft an (schonende Leerlaufstellung). Die Verwendung eines solchen Magnetventils hat den Vorteil, daß einerseits die Meßkammer dicht abgeschlossen wird und während des impulsfreien Intervalls durch Druck oder Sog vom Beatmungssystem her keine störenden oder verfälschenden Gasmengen in die Kammer gelangen können. Andererseits erreicht man auf diese Weise eine genaue Steuerung. Der von der kontinuierlich laufenden Pumpe erzeugte Gasstrom wird durch ein fast trägheitslos und dicht arbeitendes Ventil plötzlich und exakt auf die Meßkammer umgeleitet. Eine Steuerung der Pumpe selbst wäre bei ihrer Trägheit viel ungenauer und für die benötigten kurzen Impulszeiten, abgesehen von einer sicheren Abdichtung der Meßkammer, nicht zu verwenden.

Die vier genannten Elemente sind in einem Gehäuse sicher zu einem Gerät *) zusammengefaßt, das einfach zu bedienen und schnell bei der herkömmlichen Meßapparatur zwischenzuschalten ist. Zur Kontrolle, ob der Analysensammler (A.S.) arbeitet, d.h. das Magnetventil den Impuls erhält, leuchtet eine Glimmlampe während der Impulsdauer auf. Eine Überwachung des Gerätes ist somit leicht möglich.

---

*) Der Firma Drägerwerk-Lübeck sei für die technische Fertigung des Analysensammlers herzlich gedankt.

3) Versuchsanordnung zur Erprobung des Analysensammlers

Zur Erprobung des Fraktionsverfahrens und des A.S. wurden zunächst Vorversuche und Messungen an narkotisierten, relaxierten, intubierten und künstlich beatmeten Erwachsenen vorgenommen und die Ergebnisse durch Vergleich mit dem üblichen Nebenstromverfahren auf ihre Genauigkeit und Aussagefähigkeit überprüft. Dazu wurde die in Zeichnung 3 aufgeführte Versuchsanordnung benutzt. Zwischen Tubus des Patienten und Y-Stück des Beatmungssystems ist zur Abnahme ein X-Stück geschaltet, das aus Gründen der Totraumersparnis möglichst klein gehalten wurde. Von einem der beiden Abgangsstutzen des X-Stückes geht ein 150 cm langer, 4 mm weiter Schlauch zur URAS-M-Meßkammer. Von der Meßkammer führt ein 15 cm langer, 4 mm weiter Schlauch zum Eingang des Magnetventils 4 im A.S., der in Ruhestellung verschlossen ist. Durch den zweiten Eingang des Ventils, der sich während des Impulses schließt, gelangt Raumluft für die URAS-Pumpe, die über einen Schlauch vom Ausgang des Ventils je nach Ventilstellung Analysengas oder Raumluft saugt. Vom zweiten Abgang des X-Stückes führt eine 4 mm weite, 150 cm lange Verbindung zum Druckschalter 1 und dient zur Übertragung der im Beatmungssystem herrschenden Drucke auf den Druckschalter.

Wird zur Kontrolle das Nebenstromverfahren herangezogen, dann ist der Analysensammler zwischen Analysator und Pumpe ausgeschaltet (Zeichnung 4): Lösung der Verbindung URAS-M-Kammer- Magnetventil, Entfernung der Verbindung Ventilausgang - Pumpe und Herstellung einer direkten Konnektion Meßkammer - Pumpe. Somit kann in wenigen Augenblicken von der Messung mit dem Fraktionsverfahren zur Vergleichsmessung auf das Nebenstromverfahren übergegangen werden. Beim Nebenstromverfahren wird bei länger dauernden Untersuchungen das Analysengas von der Pumpe wieder ins Narkosesystem zurückgeführt, wobei zu beachten ist, daß die Rückführung zwischen

dem bei Ausatmung geschlossenen Ventil und CO_2-Absorber erfolgt. Bei Messung mit dem A.S. ist eine Rückführung unterblieben, da die kontinuierlich laufende Pumpe im impulsfreien Intervall während der Ruhestellung des Magnetventils Raumluft in das Narkosesystem bringen würde.

4) Bedienung des Analysensammlers

Zur Einstellung des A.S. bei fraktionierter Absaugung ist Folgendes zu erklären: Das erste Vorzeichen sagt jeweils aus, ob der Druckwert im ansteigenden Teil der Kurve (Ablauf der Inspiration), also bei (+)Stellung des Umschalters 3, oder im abfallenden Teil der Kurve (Ablauf der Exspiration), also bei (-)Stellung des Umschalters liegt. Das zweite Vorzeichen läßt erkennen, obsich der Druckwert im positiven oder negativen Bereich der Kurve befindet (Zeichnung 2).

a) Druckeinstellung bei positiv-negativer Druckbeatmung (PNPB)

Tabelle 2

A.S.Einst. cm H_2O	p CO_2 Vol.%	A.S.Einst.	p CO_2 Vol.%
(+) - 6	2,1	(-) + 16	0,7
- 4	1,7	+ 10	1,0
- 2	1,3	+ 5	1,9
0	1,1	+ 3	2,3
+ 3	1,0	+ 1	3,2
+ 6	0,8	0	3,3
+ 10	0,7	- 2	3,7
+ 13	0,6	- 4	4,0
+ 16	0,5	- 6	4,1
Inspiration		Exspiration	

Vergleichsmessung im Nebenstromverfahren bei gleicher Beatmung:

Inspiration: 0% CO_2 Exspiration: 4,3% CO_2

Die Tabelle 2 zeigt, welche Ergebnisse bei einem Erwachsenen bei PNPB mit einem Dräger-Spiromaten mit verschiedenen Druckeinstellungen in Kombination mit dem Umschalter 3 erreicht wurden. Die Beatmungsdrucke bewegten sich bei diesem Fall in einem Bereich von -6 bis +16 cm H_2O. In die hypothetische, der Einfachheit halber als Sinuskurve dargestellte Beatmungsdruckkurve sind die Bereiche der Inspiration und Exspiration eingetragen (Zeichnung 2, II). Entsprechend wird zur Überwachung der Inspiration der ansteigende Teil der Druckkurve successiv abgegriffen (hier von -6 bis +16 cm H_2O, Umschalter 3 auf (+)Stellung). Die CO_2-Konzentration wird theoretisch über den gesamten ansteigenden Teil der Druckkurve der i n s p i r a t o r i s c h e n CO_2-Konzentration entsprechen. Zunächst wurden allgemein zu hohe inspiratorische CO_2-Werte, in diesem Fall 2,1 bis 0,5% CO_2, auf Grund eines noch zu diskutierenden Fehlers erhalten (Tab. 2). Nach Elimination der Fehler wurden bei Erwachsenen unter PNPB mit dem Dräger-Spiromaten inspiratorische CO_2-Werte von 0,2 bis 0 % CO_2 gemessen (Tab. 1, S. 11).

Zur Erfassung der e x s p i r a t o r i s c h e n CO_2-Konzentration werden die Druckwerte im abfallenden Teil der Druckkurve (Umschalter auf (-)Stellung) abgegriffen, also von +16 bis -6 cm H_2O (Zeichnung 2, II). Die exspiratorische CO_2-Konzentration wird theoretisch während des exspiratorischen Druckverlaufs bis zum Erreichen der alveolären CO_2-Konzentration ansteigen, die am Ende des exspiratorischen Druckverlaufs (in diesem Fall also bei --6) gewonnen wird (Tab. 2, S. 16).

b) <u>Druckeinstellung bei Beatmung mit intermittierendem Überdruck (IPPB)</u>

Bei dieser Beatmungsform, zu welcher z.B. die Beutelbeatmung zu rechnen ist, bewegt sich die Druckkurve nur im positiven Bereich. Die I n s p i r a t i o n beginnt

dann erst bei 0 und nicht schon bei -6 cm H_2O. Sie hält bis zum Erreichen des maximalen positiven Beatmungsdruckes an (Zeichnung 2, III). Während des Druckabfalls vom Gipfel bis zum Nullpunkt liegt die E x s p i r a t i o n. Entsprechend wird bei (+)Stellung des Umschalters 3 und zunehmenden Druckwerten die Inspiration in ihrem Ablauf erfaßt. Es wurden CO_2-Werte von 0,1% erhalten. Bei (-)Stellung des Umschalters 3 und abfallenden Druckwerten wurden zunehmende CO_2-Konzentrationen gemessen. Die höchsten CO_2-Konzentrationen wurden bei (-)Stellung des Umschalters 3 und Druckwerten erreicht, die sich der 0-Linie nähern (+3, +2, +1) entsprechend der in diesem Bereich der Exspiration stattfindenden Ausatmung der Alveolarluft.

Für Messungen zur Narkoseüberwachung interessieren besonders die Höhe der CO_2-Konzentration in der Alveolarluft und die Überprüfung der Inspirationsluft auf ihren CO_2-Gehalt. Bei ersterer wird der Impuls am Ende der Exspiration vor dem Wechsel in die Inspiration gewählt, also bei dem oben angeführten Beispiel der PNPB bei --6, bei IPPB bei -+1. An diesen Punkten am Ende der Exspiration ist die Entnahme von Alveolarluft am sichersten gewährleistet. Man versucht, den letztmöglichen Augenblick der Exspiration einzustellen.

Zur Überwachung der Inspiration reicht es aus, einen Punkt zu wählen, der etwa an der Grenze vom ersten zum zweiten Drittel der Inspiration liegt. Eine Registrierung im allerersten Augenblick der Inspiration kann die zu diesem Zeitpunkt noch im Y-Stück evtl. vorhandene Alveolarluft anzeigen.

c) Einfluß der Impulsdauer und Absaugleistung der Pumpe auf die Messung.

Die Vorversuche beim Erwachsenen zeigten, daß die Messungen und Ergebnisse weder von der Impulsdauer (5/100 bis 20/100 sec.) noch von der Höhe der Absaugleistung der Pumpe beeinflußt werden. Bei kurzer Impulsdauer und kleinen Absaug-

leistungen ist es nicht mehr ganz sicher, ob in jedem Fall Analysengas angesaugt wird (Tab. 7, S. 35). Die Größe des Füllvolumens ist beim Fraktionsverfahren für eine genaue Anzeige nicht mehr entscheidend, die Höhe der Anzeige wird von der Größe der abgesaugten Probe nicht beeinflußt, da der CO_2-Gehalt der kleinsten bis größten abgesaugten Portion, solange Menge und Dauer der gesuchten Atemgasfraktion nicht überschritten werden, gleich ist. Die Größe der Probe hat lediglich ihre Bedeutung für die Latenz der Anzeige. Eine Tabelle über die Absaugmengen in Abhängigkeit von Impulsdauer und Pumpenleistung bei der endgültigen Meßapparatur und die Abhängigkeit der Latenz von der Absaugmenge findet sich am Ende dieses Kapitels (Tab. 6, S. 33, Tab. 7, S. 35). In den Vorversuchen beim Erwachsenen wurde bei einer Absaugleistung der URAS-M-Pumpe von 80l/h und einer Impulsdauer von 10/100 bis 15/100 sec gemessen.

5) Gegenüberstellung Fraktionsverfahren-Nebenstromverfahren

a) bei positiv-negativer Druckbeatmung (PNPB)

Vergleicht man die mit dem Fraktionsverfahren erhaltenen Meßergebnisse mit den Kontrollmessungen des Nebenstromverfahrens, dann liegen bei PNPB die bei maximalen --Werten (Alveolarluft) registrierten CO_2-Konzentrationen generell um 0,2 - 0,3 % unter den mit dem Nebenstromverfahren erhaltenen maximalen Alveolarluftwerten (z.B. Fraktionsverfahren in Tab. 2, S. 16, 4,1 % CO_2, das Nebenstromverfahren zeigte hier aber einen exspiratorischen Höchstwert von 4,3 % CO_2).

Während der Inspiration bringt das Nebenstromverfahren bei Beatmung mit dem Spiromaten (PNPB) zunächst auch Werte von 0,2 - 0,6 % CO_2. Diese Fehlanzeige läßt sich jedoch durch Rückführung des Analysengases zwischen Exspirationsventil und CO_2-Absorber in das Kreissystem vermeiden. In der Inspiration werden dann Werte von 0 bis 0,1 % CO_2 gemessen.

Dagegen zeigt das Fraktionsverfahren bei PNPB mit Spiromat und Pulmomat während des Ablaufs der Inspiration hohe CO_2-Werte (z.B. Tab. 2, S. 16 von 2,1 - 0,5 % CO_2). Die jeweils am Ende der Inspiration kurz vor dem Wechsel in die Exspiration erhaltenen CO_2-Werte schwanken zwischen 0,4 - 0,6 % CO_2 und liegen damit deutlich über den Ergebnissen des Nebenstromverfahrens (0,0 - 0,1 %).

b) bei intermittierender Überdruckbeatmung (IPPB)

Bei IPPB wurden auch Kontrollmessungen mit dem Nebenstromverfahren durchgeführt. Die Ergebnisse des Fraktionsverfahrens liegen in der Exspiration um 0,4 - 0,5 % CO_2 unter den mit dem Nebenstromverfahren erhaltenen Alveolarluftwerten. Es besteht also eine deutliche Differenz. Die Inspiration zeigt in ihrem Verlauf Werte von 0,1 % CO_2 an und stimmt damit mit dem Nebenstromverfahren überein.
Die Differenzen in der Exspiration scheinen zunächst darin begründet zu liegen, daß der Druckschalter, obwohl am Ende der Exspiration ein Druck von 0 cm H_2O erreicht wird, den letzten Impuls bei -+3, -+2 Stellung erzeugt. Damit erfolgt der Impuls nicht im allerletzten Augenblick der Exspiration. Die Alveolarluftfraktion ist beim Erwachsenen aber so groß, daß auf jeden Fall eine volle Anzeige zustandekommen müßte, was sich nach Wegfall unten beschriebener Fehlerquellen bestätigt findet.

6) Fehlerquellen und ihre Beseitigung

Wie sind nun die z.T. beträchtlichen Differenzen zum Nebenstromverfahren zu erklären und auf welche Ursachen sind sie zurückzuführen?

a) Querempfindlichkeit des URAS-M gegenüber N_2O und Halothan.

Bei Messungen mit dem URAS-M tritt zunächst allgemein, also bei Nebenstromverfahren wie Fraktionsverfahren, eine geringe Querempfindlichkeit gegenüber anderen Gasen auf.

Läßt man z.B. ein O_2 - N_2O -Gemisch, wie es etwa bei der Narkose üblich ist, durch die Kammer strömen, so ergibt sich nach exakter Nulleichung des Gerätes mit reinem O_2 eine Anzeige bis zu 0,1 % CO_2. Halothan erzeugt in Konzentrationen bis 5 % keine Querempfindlichkeit (Tab. 3).

Tabelle 3

O_2 Vol.%	N_2O Vol.%	Vol.% Halothan im O_2 - N_2O -Gemisch	Querempfindlichkeit in Vol.% CO_2
100	--	--	0
100	--	5	0
50	50	--	0,1
50	50	5	0,1
25	75	--	0,1
25	75	5	0,1

Strömte bei unserem Gerät reiner Sauerstoff durch die Analysenkammer, so traten kleine Schwankungen um den Nullpunkt auf (0 - 0,1 % CO_2-Anzeige). Obwohl der URAS-M mit einem Spannungskonstanthalter versehen ist, könnte man vermuten, daß hier Stromschwankungen die Ursache sind.

b) Mischvorgänge am Abnahmestück

Wird aus einem Atemgasbehälter mit einem bestimmten CO_2-Gehalt nach beiden Methoden Analysengas entnommen, so zeigen beide exakt dieselben Werte. Auch Raumluft von 0 % CO_2 wird durch beide Verfahren gleich angezeigt. Bei Messung im Narkosekreissystem können durch plötzliches ruckartiges Absaugen Gasgemische anderer Zusammensetzung aus dem Schenkel des Y-Stückes herausgewirbelt und in den Analysenweg gesaugt werden. Durch Zwischenschalten eines Einsatzes zwischen X- und Y-Stück wurde diese Möglichkeit ausgeschlossen. Der Fehler blieb bestehen. Das Abnahmestück selbst kommt als Fehlerquelle nicht in Betracht. Wird die

Druckabnahme an das Ende des Exspirationsschlauches verlegt und die Probenentnahme vom Inspirationsschlauch aus durch Vorschieben einer dünnen Sonde bis in den Tubus vorgenommen, so werden weiterhin die hohen inspiratorischen Konzentrationen gemessen.

c) Abhängigkeit der Anzeige von Druckschwankungen in der Meßkammer.

Bei Messungen mit dem URAS-M zeigt sich allgemein eine Beeinflussung der Anzeige durch Druckschwankungen. In einer Versuchsreihe wurde die Meßkammer mit einem Alveolarluftgemisch gefüllt, das unter Normaldruck zu einer Anzeige von 4,8 % CO_2 führte. Das Analysengas wurde dann in Stufen von 10 mm Hg einem Überdruck bis zu +60 mm Hg und anschließend einem Unterdruck bis zu -50 mm Hg ausgesetzt. Tabelle 4 zeigt die Abhängigkeit der CO_2-Anzeige vom Druck.

Tabelle 4

mm Hg	% CO_2
+60	5,4
+50	5,3
+40	5,2
+30	5,1
+20	5,0
+10	4,9
0	4,8
-10	4,7
-20	4,6
-30	4,5
-40	4,4
-50	4,3

Hieraus ergibt sich, daß für die Erhaltung genauer Meßergebnisse in der Meßkammer immer dieselben Druckverhältnisse,

nämlich Normaldruck, herrschen müssen. Schon die Druckschwankungen, wie sie zur Beatmung erzeugt werden, führen zu einer gewissen Fehlanzeige.

d) Volumenschwankungen im Meßsystem

Folgende Beobachtung gab eine Erklärung für die Fehlanzeigen mit dem URAS-M in Kombination mit dem A.S. während Exspiration und Inspiration unter Beatmung mit PNPB oder IPPB: Ein im Zuführungsschlauch zum URAS-M in der Nähe des X-Stückes befindlicher Wassertropfen pendelte auf dem Weg zum Analysator im Ablauf des Atemzyklus um ca. 3-4 cm hin und her. Das Absaugsystem ist vorne an der Entnahmestelle offen und wird hinter dem Analysator durch das Magnetventil 4 im A.S. verschlossen. Somit unterliegt das gesamte Gasvolumen, das sich in Zuleitungsschlauch und URAS-M-Meßkammer befindet, den für die Beatmung benötigten Druckschwankungen, da es ja dauernd mit dem Beatmungssystem in Kommunikation steht. Durch diese Druckschwankungen und den durch sie verursachten Volumenänderungen gelangen zu Zeitpunkten, an denen keine Absaugung vorgenommen wird, unerwünschte und anders zusammengesetzte Gasmengen in das Meßsystem. Während eines jeden Atemzyklus tritt ganz vorne an der Entnahmestelle ein Mischeffekt auf.

Beim Nebenstromverfahren kann dieser Fehler nicht auftreten. Die Atemgase werden in der Folge, wie sie der Atemphase entsprechend an der Entnahmestelle vorbeiströmen, abgesaugt und analysiert. Beim Fraktionsverfahren dagegen wird nur aus dem während einer ganz bestimmten, zeitlich begrenzten Atemphase vorbeiströmenden Gasstrom eine Probe entnommen. Ist der A.S. in Ruhe, so strömen an der Ableitungsstelle Gasgemische vorbei, die anderen Atemphasen als der gewählten angehören und nicht in das Meßsystem gelangen sollen. Durch die Druck- und Volumenschwankungen treten Vermischungen auf, die die Anzeige verfälschen.

Dies sei an einem Beispiel erläutert: Bei PNPB mit Beatmungsdrucken von -10 bis +15 cm H_2O soll die inspiratorische CO_2 bei A.S.-Einstellung von ++10 gemessen werden. Neben der Absaugung bei ++10 wird während der gesamten Inspirationsphase wegen des zunehmenden Druckes Inspirationsluft in das Meßsystem gedrückt, und zwar ist die Menge abhängig erstens von der Druckzunahme und zweitens von dem im Meßsystem vorhandenen Gasvolumen. Nach dem Ende der Inspiration bei Beginn der Exspiration fällt der Druck sowohl im Beatmungssystem als auch in den Meßwegen bis zu einem Unterdruck von -10 cm H_2O am Ende der Exspiration ab. Es wird das eingepreßte Volumen Inspirationsluft wieder austreten bzw. herausgesaugt werden. Während dieses Vorganges strömt die Exspirationsluft mit steigenden CO_2-Konzentrationen vorbei. Am Wendepunkt zur erneuten Inspiration befindet sich im Entnahme- und Y-Stück bis zur Verzweigung hochkonzentrierte Exspirationsluft, die bei Fortfall des negativen Druckes in die Spitze des Meßsystems gelangen kann. Durch den sich während der Inspiration aufbauenden Überdruck wird Inspirationsluft in das Meßsystem gepreßt und dazu noch eine Probe durch den Impuls bei ++10 angesaugt. Dadurch wandert die Gassäule von der Spitze des Meßsystems weg ein Stück in Richtung Meßkammer. Ein Auspendeln der verfälschenden Menge Exspirationsluft im anschließenden Druckabfall ist daher nicht möglich, so daß die Fehlanzeige von 0,4 - 0,6 anstelle 0,1 % CO_2 zu erklären ist.

Wird die exspiratorische CO_2-Konzentration bei positiv-negativer Druckbeatmung (PNPB) z.B. bei Stellung --10 gemessen, so liegen die Verhältnisse entsprechend. Bei --10 (Ende der Exspiration) wird die Probe entnommen. Durch den sich während der Inspiration aufbauenden Überdruck gelangt Inspirationsluft, die sich mit der vorhandenen Exspirationsluftprobe vermischen kann, in das Meßsystem. Das eingepreßte Volumen kann zwar unter dem Druckabfall während der an-

schließenden Exspiration wieder austreten, jedoch wird ein umso größerer Rest verbleiben, je früher der Zeitpunkt der Absaugung zur exspiratorischen Messung liegt, und das Ergebnis verfälschen. Erfolgt die Messung am Ende der Exspiration, dann wird dieses Moment zu vernächlässigen sein, da in diesem Augenblick das während der Inspiration eingetretene Volumen an verfälschender Inspirationsluft wieder ausgetreten ist. Dadurch wären die im Vergleich zum Nebenstromverfahren bei der Messung der Alveolarluft fehlenden 0,2 - 0,3 % CO_2 zu erklären.

Die Größe des Pendelvolumens ist bei gleichen Druckänderungen und gleichem kompressiblem Gasvolumen im Meßsystem konstant. Das bedeutet, daß unter gleichen Bedingungen eine konstante Menge eingependelter Exspirationsluft mit zu analysierender Inspirationsluft bzw. umgekehrt Inspirationsluft mit Exspirationsluft vermischt wird. Es zeigte sich eine weitere Abhängigkeit des Fehlers, besonders in der Inspirationsanzeige, von der Impulsdauer und der Absaugegeschwindigkeit der Pumpe. Betrug die Fehlanzeige bei 20/100 sec Impulsdauer und 80 l/h Absaugleistung der Pumpe 0,5 % CO_2, so stieg sie bei 10/100 sec und 80 l/h auf 0,8 % CO_2. Beim Umschalten auf 20/100 sec fiel sie wieder auf 0,6 %. Bei einer anderen Messung ergab sich bei einer Impulsdauer von 20/100 sec und einer Pumpenleistung von 20 l/h 0,9 % CO_2, bei 80 l/h 0,4 % CO_2. Der durch das bei gleichen Bedingungen konstante Pendelvolumen verursachte Mischeffekt wird durch die Größe der Absaugportionen, welche durch Impulsdauer und Pumpenleistung bestimmt ist, beeinflußt, d.h. es tritt ein mehr oder weniger großer Verdünnungseffekt ein. Damit wäre zugleich eine Möglichkeit zur Elimination der Fehlanzeige gegeben. Durch genügend große Absaugportionen ließe sie sich auf einen zu vernachlässigenden Wert vermindern. Mit der maximalen mit unserer Apparatur erreichbaren Absaugmenge pro Impuls von ca. 6 ml (bei 20/100 sec und 120 l/h) beträgt der Fehler

noch etwa 0,3 % CO_2. Dem sind aber Grenzen gesetzt: Impulsdauer und Absaugvolumen müssen möglichst klein gehalten werden, sonst besteht die Gefahr der zeitlichen und mengenmäßigen Überschreitung besonders der Alveolarluftfraktion mit dem Auftreten von anderen Fehlerquellen.

Die bei intermittierender Überdruckbeatmung (IPPB) auftretenden Fehler sind mit ähnlichen Überlegungen zu erklären. Die Abweichung in der Inspiration liegt hier jedoch sehr niedrig (0,1 % CO_2). Die große Differenz von 0,4 - 0,5 % CO_2 zum Nebenstromverfahren bei Messung der Alveolarluft ist mit der Unempfindlichkeit des A.S. um den Nullpunkt zu erklären. Die letzten Impulse werden bei -+2 - -+3 erhalten. In diesem Augenblick ist das während der Inspiration eingependelte Volumen noch nicht ganz ausgetreten, da der Ausgleich erst bei 0 vollzogen wird. Der Impuls entsteht zwar durch diese Unempfindlichkeit nicht ganz am Ende der Exspiration, auf jeden Fall aber zu einem Zeitpunkt, an dem Alveolarluft zur Ausatmung kommt, so daß der Maximalwert erreicht werden müßte.

e) Notwendigkeit eines zweiten Ventils

Soll die durch den Pendeleffekt verursachte Fehlanzeige den Wert von 0,1 % CO_2 nicht überschreiten, dann darf das Volumen des gesamten Meßsystems (Ableitungsschlauch, Meßkammer, Verbindung bis zum Magnetventil im A.S.) nicht größer als etwa 0,5 bis 1 ccm sein. Das ist jedoch nicht zu erreichen, da die Meßkammer nicht so nahe an den Patienten herangebracht werden kann. Es wurde deshalb zunächst versucht, durch Einbau von kleinen Rückschlagventilen den Gasstrom nur in eine Richtung auf die Meßkammer zu leiten. Durch Verhinderung des Druckabbaues im Meßsystem während der Exspiration sollte der Eintritt von Alveolarluft in die Spitze des Meßsystems am Wendepunkt zur Inspiration und damit der Fehler bei Messung derselben vermieden werden. Das Ventil muß dann aber direkt an der Abnahmestelle am

Tubus im Ableitungsschlauch zur Meßkammer zwischengeschaltet werden, um den Raum, in dem die oben beschriebenen Mischeffekte entstehen können, möglichst klein zu halten. Obwohl vier verschiedene Arten von kleinen Rückschlagventilen verwendet wurden, zeigten alle eine Lageabhängigkeit und Undichtigkeit. Sie verklemmten oder konnten einen geringen Pendeleffekt nicht verhindern. Beweisend für die gesamten vorausgegangenen Überlegungen mit dem Pendelvolumen war jedoch, daß sich bei exakter Lage des Ventils ein inspiratorischer Wert von 0,1 % CO_2 zeigte und mehrere Male der Fehler von 0,5 auf 0,2 % CO_2 bei 15/100 sec und bei 5/100 sec von 0,9 auf 0,4 % CO_2 zu verringern war. Bei der Messung der Exspiration verschlechterte diese Anordnung das Ergebnis. Die CO_2-Werte lagen im Vergleich zum Nebenstromverfahren um 0,8 % tiefer. Das ist dadurch zu erklären, daß durch das Ventil ein Rückströmen der während der Inspirationsphase in das Meßsystem gelangten Inspirationsluft verhindert wird. Bei Messungen der Exspiration führt dies zu dem genannten Fehler.

Die Nachteile dieser Ventile waren also:

1) Lageabhängigkeit
2) Undichtigkeit
3) Bedingt nur bei Messungen der Inspiration zu verwenden.

Die auftretenden Einklemmungen und die Lageabhängigkeit waren auch durch einen Vorspann mit Hilfe einer Feder nicht zu beseitigen. Das Ventil mußte weiterhin genau senkrecht eingebaut werden. Trotzdem traten Undichtigkeiten auf, da die Ventile zwar Gummisitze besaßen, aber für höhere Drucke gedacht waren. Für alle Messungen, sowohl der Inspiration wie auch der Exspiration, muß schließlich dieselbe Vorrichtung verwendet werden.

Eine weitere Möglichkeit war, ein Ventil mit so starkem Vorspann zwischenzuschalten, welches sich nicht auf die

Drucke im Beatmungssystem, sondern nur auf den im Meßsystem von der Pumpe während der Dauer des Impulses erzeugten Soges hin öffnete. Damit wäre gewährleistet, daß nur das im gewünschten Augenblick vorbeiströmende Gas zur Analyse in das Meßsystem gelangt. Auch diese Lösung scheiterte an der Beschaffung kleiner Ventile ohne geringsten Schlupf, weiter an der zu geringen Saugleistung der URAS-M-Pumpe und schließlich an den obengenannten Fehlermöglichkeiten durch Abhängigkeit der CO_2-Anzeige von dem in der Meßkammer herrschenden Druck.

Eine befriedigende Elimination der Fehler kann nur erreicht werden, wenn ein Ventil zur Verfügung steht, das folgende Forderungen streng erfüllt:

1) absolute Dichtigkeit
2) Lageunabhängigkeit
3) Erschütterungsunempfindlichkeit
4) minimale Trägheit
5) gute Steuerbarkeit
6) größtmögliche Nähe zum Patienten
7) kleines Gewicht, geringe Abmessungen
8) geringes Eigenvolumen zur Vermeidung des Pendeleffektes.

Alle diese Punkte schienen am besten durch das Miniventil X der Firma Herion in Stuttgart erfüllt. Es ist das kleinste elektromagnetisch erregbare Ventil, das für unsere Zwecke zur Verfügung stand.

f) Kennwerte des Herion-Miniventils

Das Ventil ist entsprechend den VDE-Schutzvorschriften abgesichert und arbeitet mit 24 Volt und 50 Hertz bei einer Stromaufnahme von 10 Watt als Durchgangsventil. Seine Kennwerte liegen wie folgt:

Maße: 32 x 65 mm	Schalthäufigkeit: über 2000/min
Anzugszeit: 7-9 msec	Lebensdauer: Millionen Schaltungen
Abfallzeit: 8-10 msec	Durchgang: 2 mm
Gewicht: ca. 200 g	Eigenvolumen: von Ventileingang bis Ventilklappe ca. 0,05 ccm

Im A.S. werden Stromimpulse von 220 V, 50 Hz für den Betrieb des Magnetventils 4 im Gerät zur Probenentnahme erzeugt. Das Miniventil soll mit dem Magnetventil im Gerät gekoppelt werden. In die Nähe des Patienten kann aus Gründen der Sicherheit ein Ventil mit 220 V Betriebsspannung nicht gebracht werden. Es wurde deshalb die Schwachstromausführung mit 24 V, 50 Hz gewählt. Die vom A.S. erzeugten Stromimpulse müssen dann entsprechend heruntertransformiert werden (Zeichnung 5). Dabei ist zu beachten, daß die im Primärkreis auftretenden Stromstöße ohne nennenswerte Verzögerung im Sekundärkreis erscheinen. Unter Verwendung eines Eisenkerntransformators beträgt die Phasenverschiebung von Primär- zu Sekundärstrom etwa 2^{o}, liegt also im Bereich von 10^{-4} sec. Es sind deshalb bei Kombination beider Ventile keine Differenzen in der zeitlichen Koordination zu erwarten. Ansprech- und Abfallzeiten von Magnetventilen sind sehr gering, so daß auch von dieser Seite keine Schwierigkeiten zu erwarten sind.

g) Änderung der Versuchsanordnung durch Einbau des Miniventils

Mit folgender Änderung der Meßanordnung wurde eine Übereinstimmung der Ergebnisse von Fraktions- und Nebenstromverfahren erreicht (Zeichnung 6): Von einem zwischen Tubus und Y-Stück liegenden T-Stück mit einem Abgang von 2 mm Lumen führt ein 15 cm langer Schlauch von ebenfalls 2 mm Lumen zum als Einlaßventil dienenden Miniventil (Entfernung Ableitungsstelle - Ventileingang 15 cm). Am günstigsten wäre es, das Ventil direkt an den Patienten heranzubringen. Wie groß der Fehler bei verschiedenen Schlauch-

längen zwischen Miniventil und Ableitungsstelle bei gleichbleibender Weite von 2 mm ist, zeigt folgende Aufstellung:

Tabelle 5

180 cm	0,8 % CO_2
130 cm	0,6 % CO_2
70 cm	0,4 % CO_2
50 cm	0,3 % CO_2
15 cm	0,1 % CO_2
5 cm	0,1 % CO_2

Diese Ergebnisse wurden bei Alveolarluftwerten von 2,4 % CO_2 (Hyperventilation zur Ausschaltung der Spontanatmung), bei Atmungsdrucken von -12 bis +20 cm H_2O (Spiromat) bei Einstellung des A.S. auf ++10, 15/100 sec und 80 l/h Pumpenleistung erhalten.

Das Ventil ist mit zwei Einschraubungen mit einer Bohrung von 2 mm versehen, um die großen Bohrungen von 1/8 Zoll Weite und 10 mm Tiefe auszufüllen und "Totraum" zu sparen. Dieser "Totraum" zwischen Ableitungsstelle und Ventilklappe, der für einen Pendeleffekt in Frage kommt, beträgt bei der Entfernung von 15 cm so nur etwa 0,5 ccm. Vom Einlaßventil (Miniventil) führt ein 150 cm langer, 2 mm weiter Schlauch zum URAS-M-Analysator. Die Druckabnahme zur Steuerung des A.S. erfolgt jetzt am Exspirations- oder Inspirationsschlauch, ist also von der Ableitungsstelle des Analysengases entfernt worden.

Die Funktion des im A.S. als Steuerventil dienenden Magnetventils 4 wurde auch verändert (Zeichnung 5). Früher diente es dazu, den Sog der Pumpe zu steuern (Ansaugen von Raumluft in Leerlaufstellung oder Ansaugen von Analysengas während des Impulses) und das Meßsystem während der Zeit, in der keine Absaugung vorgenommen wurde, von hinten her

abzuschließen. Der Verschluß des Meßsystems in der impulsfreien Zeit wird jetzt durch das Einlaßventil vorn am Patienten besser gewährleistet. Der Weg von der Meßkammer zum Steuerventil im A.S. bleibt jetzt andauernd offen. Kommt ein Impuls, dann wird nur die während der Ruhestellung des Steuerventils offene Luftzufuhr zur Entlastung der Pumpe verschlossen. Die Pumpe saugt, da sich das über dem Transformator parallel geschaltete Einlaßventil auch öffnet, eine Probe Analysengas an. Am Ende des Impulses schließt sich das vorn am Patienten als Einlaßventil dienende Miniventil wieder. Gleichzeitig wird im Steuerventil im A.S. die Luftzufuhr für den Leerlauf der URAS-M-Pumpe frei. Das Meßsystem unterliegt so im Gegensatz zu früher während des impulsfreien Intervalls nicht mehr der Druckbeeinflussung durch das Beatmungssystem. Über das offene Steuerventil kann in dieser Zeit rückläufig ein Druckausgleich in der Meßkammer stattfinden, so daß immer unter etwa gleichen Bedingungen und zwar bei Atmosphärendruck gemessen wird. Die Verbindung zwischen Meßkammer und Ventil muß so groß bleiben, daß beim Druckausgleich keine verfälschenden Gase in die Kammer gelangen (Zeichnung 5 und 6).

Führt man nun zur Kontrolle die Messung im Nebenstromverfahren durch, so wird unter Fortfall des Einlaßventils und Analysensammlers eine direkte Verbindung Abnahmestück - URAS-M-Kammer - URAS-M-Pumpe hergestellt (Zeichnung 4).

h) Endgültige Gegenüberstellung Fraktionsverfahren - Nebenstromverfahren

Mit dieser Versuchsanordnung, die aus den bisherigen Vorversuchen und den theoretischen Überlegungen entstand, wurden Messungen an Erwachsenen durchgeführt und die Ergebnisse in kurzen Abständen durch das Nebenstromverfahren auf ihre Richtigkeit überprüft. Gemessen wurde in mehreren Versuchen bei Beatmung der Patienten mit Spiromat, Pulmomat,

Atembalg und Atembeutel. Vergleicht man die Resultate bei Registrierung der Alveolarluft mit dem Fraktionsverfahren mit den beim Nebenstromverfahren erhaltenen maximalen Werten, so zeigt sich jetzt eine Differenz von höchstens 0,1 % CO_2 bei allen Beatmungssystemen. Der Fehler liegt damit im Bereich der Meßungenauigkeit des URAS-M. Auch die Inspiration zeigt bei der Messung mit dem Fraktionsverfahren Werte von 0 - 0,1, selten 0,2 % CO_2 (Abb. 3; Tab. 1, S. 11). Damit ist auch hier eine Übereinstimmung beider Methoden erreicht. Vergleicht man die mit beiden Verfahren gewonnenen Kurven miteinander, so liegen die Registrierungen auf gleichem Niveau.

Mit Hilfe des Miniventils ist es gelungen, bei vergleichenden Messungen an Erwachsenen dieselben Ergebnisse mit dem Fraktionsverfahren wie mit dem Nebenstromverfahren zu erzielen. Es ist damit bewiesen, daß eine exakte Messung der CO_2 durch gezielte Entnahme kleiner Gasproben und deren Sammlung mit Hilfe des A.S. möglich ist und das Gerät für Messungen am Säugling eingesetzt werden kann.

7) Größe der abgesaugten Portion in Abhängigkeit von Impulsdauer und Pumpenleistung

Für Messungen am Säugling ist die Größe der abgesaugten Probe von besonderem Interesse. Bei welcher Absauggeschwindigkeit der Pumpe und welcher Impulsdauer werden welche Mengen Analysengas abgesaugt? Dazu wurde die oben geschilderte Meßapparatur an eine Sammelflasche (2) angeschlossen, die durch einen Schlauch mit einem offenen Wassergefäß (1) verbunden war (Zeichnung 7). Für die aus der Sammelflasche (2) von der Meßapparatur herausgesaugte Luftmenge trat die entsprechende Menge Wasser in die Sammelflasche (2), so daß indirekt nach Bestimmung der bei 300 Impulsen angesaugten Wassermenge die Größe der pro Impuls abgesaugten Gasmenge berechnet werden konnte. Die Werte werden sich verringern, wenn aus dem Beatmungssystem bei Unterdruck

(z.B. bei Stellung --10) die Probe entnommen wird und sich vergrößern, wenn während der Überdruckphase der Impuls ausgelöst wird (z.B. bei ++10). Die Bestimmungen der Latenzzeit bei verschiedenen Druckeinstellungen geben hierüber Aufschluß (Tab. 7, S. 35).

Tabelle 6

Pumpengeschwindigkeit	Impulsdauer	Zahl der Impulse	Angesaugtes Wasservolumen	Größe der Probe pro Impuls
60 l/h	20/100sec.	300	470 ccm	1,6 ccm
80 l/h			620 ccm	2,1 ccm
100 l/h			760 ccm	2,5 ccm
120 l/h			890 ccm	2,9 ccm
60 l/h	15/100sec.	300	350 ccm	1,2 ccm
80 l/h			480 ccm	1,6 ccm
100 l/h			600 ccm	2,0 ccm
120 l/h			690 ccm	2,3 ccm
60 l/h	10/100sec.	300	230 ccm	0,8 ccm
80 l/h			290 ccm	1,0 ccm
100 l/h			390 ccm	1,3 ccm
120 l/h			460 ccm	1,5 ccm
60 l/h	5/100sec.	300	95 ccm	0,3 ccm
80 l/h			160 ccm	0,5 ccm
100 l/h			155 ccm	0,5 ccm
120 l/h			185 ccm	0,6 ccm

8) Latenzzeiten der Anzeige in Abhängigkeit von

a) Impulsdauer und Absauggeschwindigkeit der URAS-M-Pumpe

In einem Modellversuch wurde ein Übungsthorax der Firma Dräger mit einem Pulmomat bei einer Frequenz von 50/min., Beatmungsdrucken von -10 bis +20 cm H_2O, einem Atemzugvolumen von 300 ml mit einem Lachgas-Sauerstoffgemisch beatmet, das ca. 4,2 % CO_2 enthielt. Die Meßapparatur wurde wie üblich zwischengeschaltet.

Folgende Tabelle zeigt die Anzahl der benötigten Impulse, um das gesamte Meßsystem (Miniventil, Ableitungsschlauch von 150 cm Länge, 2 mm Weite und Meßkammer) bei verschiedenen Einstellungen mit dem Analysengas vollständig zu füllen und anschließend wieder leerzuspülen. Die Zahlen in Klammern geben an, nach wieviel Impulsen die erste Gasprobe die Kammer erreichte und den ersten Ausschlag verursachte.

Tabelle 7

Impuls-dauer	Pumpengeschwindigkeit	Impuls bei --10	Impuls bei --5	Impuls bei -0	Impulszahl zur Leerspülung
5/100 sec.	80 l/h	/	/	(45) 105	/
	100 l/h	/	(75) 160	(31) 75	110
	120 l/h	nach 200 Impulsen keine Anzeige	(55) 110	(30) 70	55
10/100 sec.	80 l/h	(66) 140	(28) 70	(15) 38	35
	100 l/h	(29) 62	(20) 37	(15) 32	32
	120 l/h	(27) 55	(15) 33	(13) 30	29
15/100 sec.	80 l/h	(16) 39	(14) 31	(10) 24	27
	100 l/h	(15) 35	(10) 22	(8) 18	23
	120 l/h	(11) 27	(9) 21	(7) 17	20
20/100 sec.	80 l/h	(13) 29	(10) 22	(7) 16	14
	100 l/h	(11) 22	(7) 18	(7) 15	12
	120 l/h	(9) 20	(7) 17	(7) 13	11

Die Tabelle zeigt, wieviel Impulse zur vollständigen Füllung der Kammer unter den genannten Einstellungen, wie sie zur Messung der Alveolarluft je nach Tiefe des negativen Beatmungsdruckes (hier bis -10 cm H_2O) üblich sind, benötigt werden. Die Leerspülung der Meßkammer, wie sie z.B. bei Umschaltung nach Messung der Alveolarluft zur Kontrolle der Inspirationsluft in Frage kommt, wurde nur bei einem Druck von 0 cm H_2O vorgenommen. Die Zahl kann sich wegen des während der Inspiration herrschenden Überdruckes noch etwas verringern.

Im Einzelfall ergibt die absolute Impulszahl bezogen auf die jeweilige Atemfrequenz pro Minute die Latenz der Anzeige, d.h. in welcher Zeit eine vollständige Füllung der Kammer zu erwarten ist und um welche Spanne Zeitpunkt der Aus- oder Einatmung des Analysengases und Zeitpunkt der Anzeige auseinanderliegen, d.h. welche Zeit zwischen dem tatsächlichen Vorherrschen der angezeigten Werte und der Anzeige liegt.

b) Schlauchlänge und -weite

Bei obiger Anordnung wurde anstelle des 150 cm langen, 2 mm weiten Schlauches zwischen Miniventil und Meßkammer ein 150 cm langer, 3 mm weiter Schlauch gewählt (Zeile II der folgenden Tabelle). Eine Differenz trat nicht ein.

Anschließend kam ein 90 cm langer, 2 mm weiter Schlauch zur Verwendung (Zeile III). Die zur Kammerfüllung benötigte Impulszahl ist geringer. Damit verringert sich die Latenzzeit.

c) Atemfrequenz

Den Einfluß der Atemfrequenz zeigt Zeile IV. Die Ergebnisse wurden bei sonst unveränderten Verhältnissen mit einem 150 cm langen, 2 mm weiten Schlauch bei einer Atemfrequenz von 30/min. statt 50/min. erhalten. Die

Atemfrequenz ist ohne Einfluß auf die Anzahl der zur Kammerfüllung benötigten Impulse. Die Latenzzeit verkürzt sich aber entsprechend der Erhöhung der Atemfrequenz.

d) Höhe des CO_2-Gehaltes des Analysengases

Unter den sonst herrschenden Ausgangsbedingungen wurde jetzt die CO_2-Konzentration im Analysengas verändert (Frequenz 50/min., Schlauchlänge 150 cm, 2 mm Weite). Zeile V zeigt die Ergebnisse bei einer CO_2-Konzentration von 7,5 %, Zeile VI bei 1,7 % CO_2.

Zeile I zeigt die Werte unter Ausgangsbedingungen aus Tabelle 7.

Tabelle 8

	Impuls-dauer	Pumpen-geschwin-digkeit	Impuls bei --10		Impuls bei --5		Impuls bei -0		Impulszahl zur Leerspülung
I.	15/100 sec.	100 l/h	(15)	35	(10)	22	(8)	18	23
II.	15/100 sec.	100 l/h	(15)	33	(11)	23	(10)	21	29
III.	15/100 sec.	100 l/h	(7)	18	(6)	16	(5)	14	12
IV.	15/100 sec.	100 l/h	(14)	33	(10)	23	(8)	17	25
V.	15/100 sec.	100 l/h	(11)	33	(11)	28	(9)	24	27
VI.	15/100 sec.	100 l/h	(11)	28	(10)	28	(9)	23	26

Aus der Tabelle ist zu ersehen, daß ein nennenswerter Einfluß auf die Latenzzeit nur von der Länge des Schlauches zwischen Miniventil und Meßkammer zu erwarten ist. Eine Weite von 2 oder 3 mm bringt gleiche Ergebnisse. Bei einem 1 mm weiten Schlauch ist eine Erhöhung des Widerstandes und als Folge ein Erschweren der Absaugung zu erwarten. Größere Schlauchweiten als 3 mm führen zu einer unnötigen Erhöhung des Schlauchvolumens. Die Höhe der CO_2-Konzentration ist in den genannten Bereichen ohne Einfluß auf die Latenzzeit. Die zur Kammerfüllung benötigte Impulszahl zeigt keine Abhängigkeit von der Höhe der Atemfrequenz. Die Latenzzeit ist somit bei gleichbleibenden Absauggrößen und gleichbleibender Länge der Zuführungswege (Schlauchweite 2-3 mm) nur von der Atemfrequenz abhängig.

VI. Messungen an Neugeborenen, Säuglingen und Kleinkindern im Alter von 0 - 5 Jahren

1) Vorbemerkungen

Das Fraktionsverfahren wurde nach Erprobung und Gegenüberstellung mit dem Nebenstromverfahren beim Erwachsenen in oben geschilderter, nach Elimination der Fehler entstandener Meßanordnung beim Säugling zur Narkoseüberwachung eingesetzt. Wie unten noch genauer ausgeführt, handelte es sich um die Überwachung von 23 Patienten im Alter von 0 - 5 Jahren, bei denen länger dauernde schwerere operative Eingriffe unter Intubation und Relaxation vorgenommen wurden. Die notwendige Beatmung wurde mit dem Spülsystem (AYRE-MAGILL) in Verbindung mit einem Atembeutel zur manuellen intermittierenden Überdruckbeatmung oder mit dem Pulmomaten zur automatischen Wechseldruckbeatmung durchgeführt (12).

Entsprechend den verschiedenen zur Verwendung gekommenen Tubusgrößen und -arten wurden jeweils passende T-Stücke zur Abnahme zwischen Tubus und Spülsystem geschaltet. Der Abgang zum Einlaßventil war gleichbleibend 2 mm weit. Es wurden verschiedene T-Stücke benutzt, um entsprechend der benötigten Tubusgröße das passende Abnahmestück verwenden zu können, welches keine zusätzliche Stenose der Atemwege hervorrufen darf. Das ist nur gewährleistet, wenn seine lichte Weite nicht geringer als die des Tubus ist. Die T-Stücke wurden weiterhin möglichst kurz gehalten, um den Totraum nicht unnötig zu vergrößern. Die Druckabnahme zur Impulsauslösung geschah durch Zwischenschalten eines Abnahmestückes an der Stelle, an welcher der Zuführungsschlauch für das Narkosegasgemisch in das Spülsystem mündet (Zeichnung 6).

Die Einstellung des Druckschalters 1 am A.S. sei nochmals kurz wiederholt. Die Kontrolle der Inspiration findet bei (+)Stellung des Umschalters 3 (ansteigender Teil der Druckkurve) statt, eine Druckeinstellung entsprechend dem Ende des ersten Drittels bis etwa zur Mitte der Inspirationsphase zeigte sich für die Kontrolle der Inspiration als ausreichend. In diesem Bereich etwa wird die maximale Inspirationsgeschwindigkeit erreicht, damit besonders hier die Gefahr einer Rückatmung bestehen. Eine Registrierung im allerersten Augenblick der Inspiration zeigt die zu diesem Zeitpunkt bis zum Spülsystem evtl. vorhandene Alveolarluft an.

Die Messung der Alveolarluft wird bei (-)Stellung des Umschalters 3 (abfallender Teil der Druckkurve) vorgenommen. Dabei ist darauf zu achten, daß der niedrigste Druckwert (bei Beatmung mit dem Atembeutel gegen 0 cm H_2O, bei PNPB entsprechend dem tiefsten negativen Beatmungsdruck) am Druckschalter 1 eingestellt wird, damit der Impuls zur Absaugung möglichst am Ende der Exspirationsphase kurz

vor dem Wechsel in die Inspiration erfolgt. Treten Änderungen der Beatmungsdrucke auf, dann ist die Druckeinstellung besonders bei Kontrolle der Alveolarluft entsprechend zu korrigieren.

Als Impulsdauer wurde in den meisten Fällen 15/100 sec. bei einer Absauggeschwindigkeit der URAS-M-Pumpe von 80 l/h gewählt. Einzelne Messungen, dann aber nur bei Beatmung mit dem Atembeutel (IPPB), wurden bei 10/100 sec. Impulsdauer und 80 l/h Pumpenleistung durchgeführt (Grösse der abgesaugten Portionen und Latenzzeiten Tab. 6 und 7, S. 33 und 35). Es zeigte sich, daß auch bei Wahl höherer Absaugleistungen in der Registrierung der exspiratorischen CO_2-Konzentration keine Differenzen auftraten. Grundsätzlich besteht ja bei Messung der Alveolarluft besonders bei kleinen Atemvolumina und durch die gegen Ende der Exspiration immer geringer werdende Ausatmungsgeschwindigkeit die Möglichkeit, daß die Menge der gewählten Atemphase überschritten wird und Fehler durch Ansaugen fremder Gasmengen entstehen. Unsere Absauggrößen (Tab. 6) liegen nicht nur deutlich unter dem Volumen der Alveolarluft (ca. 10 - 12 ml beim Neugeborenen und Säugling), sondern sind so gering, daß noch bedeutend kleinere Atemgasfraktionen erfaßt werden können. Ähnliche Überlegungen sind auch bei der Wahl der Impulsdauer anzustellen. Bei einer Atemfrequenz von 60/min beträgt die Dauer der gesamten Exspiration ca. 0,5 sec. Die am A.S. einstellbaren Impulszeiten von 0,05 - 0,2 sec. sind dann nicht zu lang. Bei den Messungen am Säugling war demnach auch kein Einfluß der Impulsdauer auf die Ergebnisse festzustellen.

Für eine genaue und reale Messung sowohl der Inspirations- wie auch der Alveolarluft ist es notwendig, ein Gegenpressen und Gegenatmen des Patienten sicher zu vermeiden, was durch eine gute Relaxation möglich ist. Die sonst erhalte-

nen stark schwankenden Werte (Abb. 4) sind damit zu erklären, daß durch das Gegenatmen des Patienten der Beatmungsdruck beeinflußt und verändert wird. Dadurch werden Druckwerte erreicht, die der an sich vorherrschenden Beatmungsphase nicht entsprechen. Der Impuls, der bei dem gewählten, bei regelmäßiger und ungestörter Beatmung immer der gleichen Atemphase mit derselben Atemgaszusammensetzung zuzuordnenden Druckwert erzeugt wird, führt dann zur Absaugung anderer Gasgemische. Dazu kurz die folgenden Beispiele: Die Inspiration soll bei Stellung ++10 gemessen werden. Atmet der Patient während der Überdruckerzeugung für die Inspiration gegen den Beatmungsrhythmus aus, dann besteht die Gefahr, daß Exspirationsluft zur Analyse abgesaugt wird. Soll die Alveolarluft bei Stellung --10 registriert werden und atmet der Patient während der Unterdruckerzeugung für die Exspiration gegen den Rhythmus der Beatmung ein, dann ist ein Absaugen der ersten Anteile der Exspirationsluft anstelle der Alveolarluft möglich. Dadurch können die sonst regulär bei Fehlen einer Gegenatmung gewonnenen Proben verfälscht und fehlerhafte Werte erreicht werden.

Bei den Messungen ist, wie allgemein beim URAS-M, auf Kondenswasserbildung in der Meßkammer zu achten (11). Die Querempfindlichkeit des URAS-M für Lachgas und die Möglichkeit einer leichten Nullpunktverschiebung sind besonders bei Überwachung der Inspiration zu beachten. Es empfiehlt sich, vor jeder Kontrolle der Inspiration zur genauen Beurteilung einer etwa vorhandenen Rückatmung kurz die Nulleichung des Gerätes zu überprüfen.

2) Messungen der CO_2 in der Alveolarluft, Änderungen der Beatmungsfrequenz

Die folgende Aufstellung enthält die bei der Beatmungskontrolle von 23 Patienten bei verschiedenen Atemfrequenzen gemessenen CO_2 - Alveolarluftwerte und zeigt, welche Frequenz zur Beatmung der Patienten notwendig war. Dabei dienten als Richtwerte für die Beatmungsfrequenz die von HAHN und BLOMER (2, 10) veröffentlichten Daten. Für die CO_2-Spannung in der Alveolarluft dienten die bei WENNER, BEER und DOLL veröffentlichten, in Volumenprozent umgerechneten, blutgasanalytisch ermittelten CO_2-Drucke im arteriellen Blut für Kinder verschiedener Altersklassen (23).

Tabelle 9

Pat. Nr.	Alter	Gewicht	Operation	Soll-AF/min. (2,10)	Beatmungs-freq./min. (manuelle IPPB oder Pulmomat-PNPB)	Soll-Wert CO_2 in der Alveolar-luft (23)	Gemessener Alveolar-luftwert in % CO_2
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.Spalte
1.	11 h	3030 g	Oesophagus- und Analatresie	49,50 (28-69)	52 IPPB 60 " 35 " 44 " 48 " 40 "	4,36 % (3,5-5,6) 31,2 mmHg (25-40)	2,9-3,2 2,5-2,7 4,0 3,2 3,0 3,4
2.	36 h	1700 g	Oesophagus-atresie	49,50 (28-69)	60 IPPB 60 " 60 "	4,36 %	2,5 2,9 3,2
3.	3 Tg.	2400 g	Ileoascendostomie, Ileus	49,50 (28-69)	48 IPPB 54 " 60 "	4,36 %	4,1-4,6 4,3 4,0
4.	8 Tg.	3200 g	Duodenalstenose	49,50 (28-69)	45 IPPB 44 PNPB 36 " 56 "	4,36 %	3,2 4,5 5,2 3,4-3,6
5.	3 Wo.	2400 g	Duodenalstenose	62,75 (40-87)	100 IPPB 80 " 100 "	4,42 % 31,6 mmHg	4,6 6,0 3,0-3,4
6.	3 Wo.	3500 g	Duodenalstenose	62,75 (40-87)	60 IPPB 60 "	4,42 %	3,0-3,2 2,8

Fortsetzung Tabelle 9

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.Spalte
7.	6 Wo.	3570 g	Epigastr.Hernie	62,75 (40-87)	60 IPPB	4,42 %	5,2
8.	7 Wo.	4400 g	Gallengangs-atresie	62,75 (40-87)	56 IPPB 60 " 45 " 60 " 60 "	4,42 %	5,4 5,0 2,9 4,0 3,3
9.	2 Mon.	2130 g	Zust.n.Bauchspalte. Duodenalstenose. Lösung v.Adhäsionen	62,75 (40-87)	60 IPPB 50 " 75 "	4,42 %	4,3 5,5-6,0 3,6
10.	3 Mon.	3200 g	Analatresie	62,75 (40-87)	60 IPPB 65 " 65 "	4,42 %	4,5-5,2 4,0 3,6-4,4
11.	3 Mon.	5200 g	Hiatushernie	62,75 (40-87)	52 IPPB 60 "	4,42 %	4,2 3,0
12.	4 Mon.	6350 g	Blasenekstrophie 1. Op. 17.7.64	66,22 (49-88)	28 IPPB 36 " 40 " 50 "	4,42 %	5,7 4,8 4,9 4,0
13.	4 Mon.	6670 g	Blasenekstrophie 2. Op. 24.7.64	66,22 (49-88)	48 PNPB 40 " 60-68 " 40 " 53 " 32 " 56 IPPB 50 "	4,42 %	5,0 5,3 4,1-4,3 5,6 4,4 6,0 4,2 4,2

Fortsetzung Tabelle 9

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8. Spalte
14.	6 Mon.	5100 g	abdomino-thorakale Colontransplantation nach Oesophagus-atresie	66,22 (49-88)	70 IPPB 55 " 55 PNPB 60 IPPB	4,42 %	2,8 2,7 3,2 2,9
15.	6 Mon.	5800 g	Colonresektion M. Hirschsprung	66,22 (49-88)	60 IPPB 22 " 70 " 38 PNPB 44 " 60 " 48 "	4,42 %	3,5 4,0 2,7 2,5 2,5 2,2 2,4
16.	6 Mon.	6600 g	Rectosigmoidektomie bei Morbus Hirsch-sprung	66,22 (49-88)	36 IPPB 44 " 30 "	4,42 %	3,9 3,4 4,2
17.	1 J. 5 Mon.	10,4 kg	Wilmstumor	35,50	44 IPPB 50 "	5,22 % 37,7 mmHg	4,9 3,5
18.	2 J. 2 Mon.	9800 g	Colonresektion Morbus Hirsch-sprung	24,41 (19-30)	60 IPPB 52 " 64 "	5,22 %	3,8 4,4 3,7
19.	2 J. 3 Mon.	9700 g	Pankreas anulare Duodenalstenose	24,41 (19-30)	30 PNPB	5,22 %	3,8

Fortsetzung Tabelle 9

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8. Spalte
20.	2 J. 7 Mon.	13,5 kg	Splenektomie	23,66 (18,9-30,3)	24 IPPB 25 " 36 " 36 "	5,22 %	5,0 4,7 3,9-4,2 3,5-4,0
21.	2 J. 9 Mon.	15 kg	Colonresektion Morbus Hirschsprung	23,66 (18,9-30,3)	30 IPPB 15 PNPB 30 "	5,22 %	3,6 4,3 3,5
22.	4 J.	16,3 kg	Splenektomie	23,60 (11-30)	40 IPPB 50 "	5,22 %	4,6 3,7
23.	5 J.	11,5 kg	Colontransplantation	22,52 (19-27)	56 IPPB 40 PNPB 30 " 40 IPPB	5,22 %	4,0 3,5 4,2 3,8

Die Aufstellung der Kontrollmessungen der Alveolarluft mit dem URAS-M im Fraktionsverfahren läßt erkennen, daß die hohen, von HAHN und BLÖMER (2, 10) für Neugeborene und Säuglinge angegebenen Frequenzen von ca. 50 - 65/min. bei den Kindern 1. - 13. (0 - 4 Monate alt) bei der Beatmung eingehalten werden mußten, um die CO_2-Spannung in der Alveolarluft auf der Höhe der von WENNER, BEER und DOLL veröffentlichten CO_2-Werte zu halten. In einzelnen Fällen wurde die CO_2 durch Hyperventilation bewußt etwas niedriger gehalten, um die Reizbildung im Atemzentrum auszuschalten und auf diese Weise unter Einsparung von Succinyldicholin ein Gegenpressen der Patienten zu vermeiden. Bei den Kindern 14. - 16. (alle 6 Monate alt) war die Ventilation nach den Frequenzangaben (65/min) von HAHN und BLÖMER offensichtlich zu hoch. Nach den Angaben von BROCK (3) liegt die Atemfrequenz dieser Altersklasse bei 36/min. Ein Fall (17.) von 1 Jahr und 5 Monaten benötigte eine Frequenz von 44/min., die etwas höher liegt als der von HAHN und BLÖMER (2) und BROCK (3) angegebene Wert von 35 bzw. 32/min. Im Alter von 2 - 5 Jahren (Kind 18. - 23.) zeigte sich eine Beatmung in Frequenzen um 25/min. entsprechend den Daten von HAHN und BLÖMER (2, 10) oder BROCK (3) als ausreichend.

Entsprechend den Berechnungen nach HENNEBERG (13) war ein Einsatz des URAS-M im Nebenstromverfahren bei den Kindern 17. - 23. möglich. Konnten die Kinder (1 Jahr und 5 Monate bis 5 Jahre) mit ausreichend niederen Frequenzen beatmet werden, dann wurden bei schneller Schreibung CO_2-Kurven mit regulärer Plateaubildung registriert. Auch hier stimmten die mit Fraktionsverfahren und Nebenstromverfahren erhaltenen Meßergebnisse wie bei Gegenüberstellung der beiden Methoden bei Erwachsenen exakt überein (Abb. 2). Atemminutenvolumen und andere Atemgrößen zur näheren Beschreibung der CO_2-Werte konnten noch nicht bestimmt werden. In den Tabellen ist nur die Atemfrequenz angegeben,

bei welcher die CO_2-Werte erhalten wurden. Die fortlaufende und gleichzeitige Bestimmung des CO_2-Gehalts in der Alveolarluft als anerkanntes Maß für die Beurteilung der Beatmung war bisher beim Neugeborenen und Säugling nicht möglich. Unter Voraussetzung normaler Kreislauf- und Lungenverhältnisse und ausreichenden O_2-Anteils im Narkosegemisch kann jetzt auch in diesem Alter die Aussage gemacht werden, ob eine ausreichende Beatmung vorliegt oder nicht. Damit ist eine genaue Einstellung der Ventilationsgrößen auf den Bedarf des Neugeborenen oder Säuglings zur Vermeidung einer Hypo- oder Hyperventilation möglich.

3) Überwachung der Inspiration. Größe der Narkosefrischgaszufuhr beim Spülsystem.

Das von AYRE und MAGILL entwickelte Spülsystem besteht in der von KUHN verbesserten Ausführung aus einem leichten konustragenden Ansatzstück, in das eine Zuführung für das Frischgas bis vor den Abgang für den Tubus mündet. Am anderen Ende befindet sich ein etwa 30 cm langer Spülschlauch, an den ein mit einer Öffnung versehener Atembeutel oder ein Pulmomat angeschlossen wurde. Das Spülsystem besitzt weder CO_2-Absorber noch Ventile. Die Frischgaszufuhr muß so hoch sein, daß während der Überdruckerzeugung zur Inspiration keine Exspirationsluft aus dem Spülschlauch rückgeatmet werden kann (Zeichnung 6).

In untenstehender Tabelle sind die Untersuchungen zur Frage der Frischgaszufuhr zusammengefaßt. Für verschiedene Patienten ist die Mindestmenge an Narkosegas pro Minute, die für eine sichere Spülung des Spülsystems zur Vermeidung einer Rückatmung von CO_2 notwendig war, unter Angabe der jeweils zur ausreichenden Ventilation benötigten Beatmungsfrequenz aufgeführt. Zur Kontrolle, ob eine

ausreichende Spülung vorlag, wurde die Inspirationsphase mit dem URAS-M im Fraktionsverfahren überprüft. Die Anzeige des Gerätes durfte dabei höchstens 0,1% CO_2 betragen.

Tabelle 10

Pat. Nr.	Alter	Gewicht	Operation	Max. Inspir. Geschw. bei Spontanatmung (10) l/min.	Epstein (12) 2,2-3x AMV (2,10)	Mindestflow O_2 + N_2O in l/min.	Soll-AF/min. (2,10)	Beatmungsfreq./min.
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.Spalte
1.	11 h	3030 g	Oesophagus- u. Analatresie	2,8	2,5	6,7	49,50 (28-69)	44
2.	36 h	1700 g	Oesophagusatresie	2,8	2,5	5,3	49,50 (28-69)	60
4.	8 Tg.	3200 g	Duodenalstenose	2,8	2,5	5,3	49,50 (28-69)	56
8.	7 Wo.	4400 g	Gallengangsatresie	5,5 (3-9)	5,5 (2,5-9)	10	62,75 (40-87)	60
9.	2 Mon.	2130 g	Zust.n.Bauchspalte, Duodenalstenose, Lös.v.Adhäsionen	5,5 (3-9)	5,5 (2,5-9)	10,5	62,75 (40-87)	60
11.	3 Mon.	5200 g	Hiatushernie	5,5 (3-9)	5,5 (2,5-9)	11	62,75 (40-87)	60
14.	6 Mon.	5100 g	abd.-thor.Colontranspl.n.Oesophagusatresie	5,5 (3-9)	5,5 (2,5-9)	11	66,22 (49-88)	65
16.	6 Mon.	6600 g	Rectosigmoidektomie	5,5 (3-9)	5,5 (2,5-9)	11	66,22 (49-88)	40
17.	1 J. 5 Mon.	10,4 kg	Wilmstumor	12 (9-15) f.2,7 J.	9 (7,5-12)	13	35	50
18.	2 J. 2 Mon.	9800 g	Rectosigmoidektomie	12 (9-15)	9 (7,5-12)	12,5	24,41 (19-30)	40

Fortsetzung Tabelle 10

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.Spalte
19.	2 J. 3 Mon.	9700 g	Duodenalstenose	12 (9-15)	9 (7,5-12)	13	24,41 (19-30)	40
20.	2 J. 7 Mon.	13,5 kg	Splenektomie	12 (9-15)	9 (7,5-12)	12,5	23,66 (19-30)	35
21.	2 J. 9 Mon.	15 kg	Colonresektion	12 (9-15)	9 (7,5-12)	13	23,66 (19-30)	27
22.	4 J.	16,3 kg	Splenektomie	17,8 (12-22)	13 (10-15)	17 (0,3-0,5% CO_2 Rückatmung	23,60 (11-30)	40
23.	5 J.	11,5 kg	Colontransplantation	16,8 (12-20)	15 (10-20)	15	22,52 (19-27)	30

Patient 21. wurde mit verschiedenen Frequenzen beatmet, um den Einfluß der Beatmungsfrequenz auf die Höhe des benötigten Flows für diesen Fall zu zeigen.

21.	2 J. 9 Mon.	15 kg	Colonresektion	12 (9-15)	9 (7,5-12)	8 13 13 15	23,66 (19-30)	15 27 40 50

Als Richtwerte für die Beatmungsfrequenz dienten wieder die Daten von HAHN und BLÖMER (2, 10). Zur groben Orientierung, mit welchen maximalen Inspirationsgeschwindigkeiten zu rechnen ist, sind die bei Spontanatmung gefundenen Werte (10) angeführt, da pneumotachographische Paralleluntersuchungen zur Beurteilung der jeweils vorhandenen maximalen Inspirationsgeschwindigkeit noch nicht möglich waren. Bei den Patienten 1. - 16. (0 - 6 Monate alt) war die zur ausreichenden Spülung benötigte Frischgaszufuhr etwa doppelt so hoch, wie die für dieses Alter von HAHN und BLÖMER (10) angegebenen Werte der maximalen Inspirationsgeschwindigkeit. Bei den Altersgruppen von 1 Jahr und 5 Monaten bis zu 2 Jahren und 9 Monaten (Patienten 17. - 21.) entsprach die Höhe der Frischgaszufuhr in etwa der von HAHN und BLÖMER (10) ermittelten maximalen Inspirationsgeschwindigkeit.

Ferner sind die nach EPSTEIN (12) errechneten Werte für die Frischgaszufuhr angegeben, die durch Multiplikation des Atemminutenvolumenwertes (2, 10) mit dem Faktor 2,2 - 3,0 (hier mit Faktor 3) erhalten werden können unter der Annahme, daß die maximale Inspirationsgeschwindigkeit nicht während der ganzen Inspiration vorherrscht und somit der Spülschlauch gewissermaßen als Reservoir für das Frischgas dient. Diese Werte genügten nicht für eine ausreichende Spülung des Spülsystems bei den aufgeführten Fällen. Bei den Patienten 1. - 16. (0 - 6 Monate alt) entspricht die benötigte Frischgaszufuhr etwa dem Sechsfachen, bei den Patienten 17. - 21. (1 Jahr und 5 Monate bis 2 Jahre und 9 Monate alt) etwa dem Vierfachen der bei HAHN und BLÖMER (2, 10) für die Spontanatmung aufgeführten Atemminutenvolumenwerte. Der Fall 22. läßt die Grenze der Anwendbarkeit des Spülsystems vermuten. Bei dem 4 Jahre alten, 16,3 kg (Normalgewicht) schweren Kind reichte der maximal am Narkoseapparat einstellbare Gasstrom von 17 l O_2 + N_2O/min bei einer Beatmungsfrequenz von 40/min

nicht aus. Es wurden 0,3 - 0,5% CO_2 rückgeatmet. Beim Kind 23. (5 Jahre, 11,5 kg) reichte zwar ein Gasstrom von 15 l O_2 + N_2O/min bei einer Frequenz von 30/min aus, das Normalgewicht für dieses Alter beträgt aber 19 kg, 11,5 kg entsprechen einem Alter von 18 Monaten.

Die Untersuchung bei Patient 21. läßt eine starke Abhängigkeit einer ausreichenden Frischgaszufuhr von der Beatmungsfrequenz erkennen, zu deren genauerer Klärung aber Messungen des Atemminutenvolumens und der Inspirationsgeschwindigkeit fehlen.

Folgende zwei Beispiele zeigen den Einfluß einer Rückatmung von CO_2 auf die CO_2-Konzentration in der Alveolarluft und lassen die Bedeutung einer Überwachung der Inspiration erkennen (Tab. 11).

Tabelle 11

Pat. Nr.	Flow O_2 + N_2O l/min	Insp. CO_2 Vol.%	Alv.CO_2 Vol.%	Frequenz pro Minute
16.	11 l/min	0,1	3,7	40
	8 l/min	0,9	4,3	40
17.	13 l/min	0,1	4,2	50
	9 l/min	1,0	5,2	50

4) Einzelbeobachtungen

Bei folgenden Patienten wurden während der Narkose Besonderheiten mit Hilfe der CO_2-Messung festgestellt. Unter Kontrolle des URAS-M im Fraktionsverfahren konnten durch entsprechende Maßnahmen normale CO_2-Werte erreicht werden.

a) Beispiel für die Notwendigkeit einer Beatmung mit sehr hohen Frequenzen

Pat. 5.: 3 Wochen, 2400 g, Duodenalstenose.
Vor der Narkose wurde beim prämedizierten Kind eine Spontanfrequenz von 75/min festgestellt. Zu Beginn der Operation betrug die CO_2 in der Alveolarluft bei einer Beatmungsfrequenz von 100/min zunächst 4,6 -5,0%. Eine Beatmung mit einer Frequenz von nur 80/min führte innerhalb von 10 Minuten zu einem Anstieg der alveolären CO_2 auf 6,0%. Unter Beatmung mit einer Frequenz von 100/min fiel die CO_2 bis zum Ende der Operation auf 3,0 - 3,4%. Offensichtlich waren bei diesem Fall bei gleichen Beatmungsdrucken Beatmungsfrequenzen nötig, die über der oberen Grenze der für dieses Alter in Frage kommenden Streubreite von 40 - 87/min (2) lagen.

b) Drei Beispiele für eine Beeinflussung der Beatmung durch innere oder äußere Ursachen.

(Die während der Beeinflussung erhaltenen CO_2-Werte sind in der Aufstellung der CO_2-Alveolarluftwerte (Tab. 9) nicht enthalten.)

Pat. 8.: 7 Wochen, 4400 g, Gallengangsatresie.
Zu Beginn der Operation betrug die alveoläre CO_2 - Konzentration bei einer Beatmungsfrequenz von 56/min 5,4% und fiel nach 8-minütiger Beatmung mit einer Frequenz von 60/min auf 5,0% ab. Trotz Beibehaltung dieser Frequenz stieg die CO_2 innerhalb von 15 Minuten auf 6,5% an und ließ sich trotz intensivster Beatmung nicht senken. Es stellte sich dann heraus, daß der Thorax des Kindes durch den Unterarm eines Assistenten belastet war. Nach Entfernen des Armes fiel die CO_2 dann auch innerhalb von 5 Minuten auf 3,0% und konnte bis zum Ende der Operation auf dieser Höhe gehalten werden (Abb. 5).

Pat. 11.: 3 Monate, 5200 g, Hiatushernie.
Bei diesem Eingriff war eine zeitweilige Kompression des linken Lungenunterlappens durch einen Spatel nicht zu umgehen. Während der Operation wurden mit dem URAS-M stark schwankende CO_2-Werte gemessen. Durch Variation der Beatmungsfrequenz konnte die CO_2-Spannung in normalen Grenzen gehalten werden. Dabei wurden folgende Werte registriert:

Freq 65/min: von 5,4 bis 3,6 % CO_2 abfallend
Freq 55/min: 4,2 bis 4,4 % CO_2
Freq 45/min: 5,2 % CO_2
Freq 52/min: 5,8 % CO_2
Freq 60/min: 4,8 bis 5,4 % CO_2
Freq 52/min: 4,2 bis 5,2 % CO_2
Freq 60/min: 4,7 bis 5,5 % CO_2
Freq 70/min: 4,7 % CO_2
Freq 60/min: 4,4 % CO_2

Der Spatel wurde während der Operation einmal entfernt. Dabei fiel die CO_2 bei einer Frequenz von 52/min innerhalb 2,5 Minuten von 5,1 auf 4,2 %. Nach 3 Minuten Wiedereinlegen des Spatels, Anstieg der CO_2 innerhalb 1 Minute auf 4,9 %. Nach endgültigem Entfernen des Spatels gegen Ende der Operation verringerte sich die CO_2-Konzentration in der Alveolarluft bei einer Frequenz von 60/min von 4,4 auf 3,0 % innerhalb 3,5 Minuten. Schwankungen traten beide Male nach Entfernen des Spatels nicht mehr auf (Abb. 6).

Pat. 14.: 6 Monate, 5100 g, Abdomino-Thorakale Colontransplantation.
Während der ersten 2 Stunden der Narkose lag die CO_2 in der Alveolarluft zwischen Werten von 2,7 - 3,2 % bei Beatmungsfrequenzen von 55-75/min. Dann stieg die CO_2 bei einer Beatmungsfrequenz von 60/min plötzlich

bis auf 5,6 % an. Durch rechtzeitige Erhöhung der Frequenz auf 75/min und des Beatmungsdruckes gelang es, innerhalb 10 Minuten Werte von 3,7 % zu erreichen. Bis zum Ende der Operation konnte während 45 Minuten bei einer Frequenz von 60/min unter ständiger Kontrolle des URAS-M die CO_2 auf einer Höhe von 3,2 -3,7% gehalten werden. Nach Extubation stellte sich heraus, daß die untere Öffnung des Tubus etwa zur Hälfte mit angetrocknetem Sekret verlegt war.

c) Überwachung einer 5 Tage dauernden künstlichen Beatmung eines Neugeborenen. (In den Tabellen 9 und 10 nicht aufgeführt)

Es handelte sich um ein zum Zeitpunkt der Operation 36 Stunden altes, 3210 g schweres Kind mit einer Rectumatresie und Oesophagusatresie mit Oesophagotrachealfistel (Typ III b). Die operativen Eingriffe fanden am 21.2.65 von 12.00 bis 15.00 Uhr statt. (Anlegen eines Anus praeter transversalis, Verschluß der Oesophagotrachealfistel, End-zu-End-Anastomose der beiden Oesophagusrudimente.) Die Narkose verlief ohne Komplikation. Um 19.00 Uhr trat ein plötzlicher Atem- und Herzstillstand ein. Beatmung in Intubation und externe Herzmassage verliefen erfolgreich. Jedoch war eine künstliche Beatmung mit dem Dräger-Spiromat (PNPB) in Kombination mit dem Kinderzusatzgerät im offenen System unter Zusatz von 3 l O_2/min und Aerosol weiterhin notwendig.

22.2.65: Die Beatmung wurde so reguliert, daß die alveoläre CO_2 zwischen 3 und 4 % lag. Auf diese Weise konnte eine Beeinträchtigung der Ventilation durch Gegenatmen vermieden werden. Wiederholte Versuche zur Spontanatmung scheiterten. Regelmäßige Absaugung des Sekrets.

23.2.65: Zur Aufrechterhaltung einer ausreichenden Ventilation und normaler CO_2-Werte wurden immer höhere Beatmungsdrucke notwendig. Eine Spontanatmung war nicht möglich. Regelmäßige Absaugungen.

24.2.65: Aus unerklärlichen Gründen wurde die Beatmung weiterhin immer schwieriger. Thorax röntgenologisch bisher ohne Befund. Trotz maximaler Leistung des Spiromaten war die Beatmung nicht mehr ausreichend. Das Kind wurde zunehmend cyanotisch bei Werten bis 9,5 % CO_2. Nach mehrmaliger Umintubation und Absaugung gelang es, nach Gabe von Relaxantien mit der höchsten Spiromatleistung bis gegen Abend die CO_2-Konzentration auf Werte um 3 % zu senken.

25.2.65: In den Morgenstunden Ansteigen der CO_2-Werte trotz intensivster Beatmung bis ca. 10 %. Sehr starke Cyanose. Thorax röntgenologisch weiterhin ohne Befund. Nach Lavagen mit verdünntem Tacholiquin gelang die Entfernung von Sekretpfröpfen aus beiden Hauptbronchien. Anschließend war eine Beatmung wieder gut möglich. Rückbildung der Cyanose. Die CO_2 in der Alveolarluft verringerte sich auf Werte um 3 %.

26.2.65: Beatmung weiterhin gut möglich. 18.00 Uhr Extubation, ausreichende Spontanatmung.

27., 28.2.65: Das Kind atmete spontan etwas beschleunigt und angestrengt, aber ausreichend.

1.3.65: Weiterhin angestrengte, stärker beschleunigte ausreichende Spontanatmung. Über beiden Lungen pleurale und bronchiale Geräusche zu hören.

2.3.65: Plötzliche respiratorische Insuffizienz mit Exitus.

Die Obduktion ergab eine Nahtinsuffizienz im Bereich der Oesophagusanastomose sowie der Trachealnaht. Es resultierte eine offene Verbindung zwischen Oesophagus und rechter Pleura, gefolgt von einer diffusen, fibrinös-eitrigen Pleuritis rechts. Daneben eitrige Tracheobronchitis und erhebliche Dystelektase der Lungen.

Durch fortlaufende, ununterbrochene Kontrolle der CO_2-Konzentration in der Alveolarluft leistete der URAS-M im Fraktionsverfahren während der lang dauernden künstlichen Beatmung dieses Neugeborenen wertvolle Hilfe bei der Einstellung der Ventilationsgrößen und der Beurteilung der Wirksamkeit verschiedener Maßnahmen.

VII. Zusammenfassung

Eine fortlaufende CO_2-Messung zur Ventilationskontrolle bei Narkosen ist mit den üblichen Methoden zur CO_2-Analyse beim Neugeborenen und Säugling nicht möglich. Der Einsatz des beim Erwachsenen zur fortlaufenden und gleichzeitigen CO_2-Messung in der Atemluft zur Beatmungssteuerung sehr bewährten URAS-M im Nebenstromverfahren scheitert bei den hohen Atemfrequenzen und geringen Atemzugvolumina dieser Altersgruppe an einer Überschreitung der minimalen Füllzeit des URAS-M, einer unzureichenden Spülung der Meßkammer und am Ansaugen von verfälschender Nebenluft. Das Fraktionsverfahren mit Anwendung eines Analysensammlers berücksichtigt die technischen Grenzen des URAS-M und die atemphysiologischen Größen des Neugeborenen und Säuglings und ermöglicht auch hier eine fehlerfreie CO_2-Messung. Das Fraktionsverfahren beruht auf der gesteuerten Absaugung einer kleinen Gasprobe aus einer bestimmten Atemgasfraktion bei jedem Atemzug, die gesammelt und dem URAS-M zugeleitet wird. Zur Steuerung einer gezielten Probenentnahme durch den Analysensammler werden die zur Beatmung erzeugten Druckschwankungen herangezogen. Das ist möglich, da bei gleichmäßiger Beatmung bei einem bestimmten, immer wiederkehrenden Druckwert stets dieselbe Atemgasfraktion abgesaugt werden kann.

Das Fraktionsverfahren wird zunächst bei Erwachsenen durch Gegenüberstellung mit dem Nebenstromverfahren verglichen und nach Beseitigung der Fehler eine Übereinstimmung der Meßergebnisse beider Verfahren erzielt. Nach Aufstellung der Meßbedingungen und Meßcharakteristika werden bei 23 intubierten, narkotisierten, relaxierten und künstlich beatmeten Patienten im Alter von 0 - 5 Jahren während größerer operativer Eingriffe unter gleichzeitiger Registrierung der Beatmungsfrequenz CO_2-Messun-

gen durchgeführt. Unter der Einschränkung, daß Beatmungsdruck- und Atemvolumenmessungen fehlen, läßt die Kontrolle der A l v e o l a r l u f t mit dem Fraktionsverfahren erkennen, daß 13 Kinder im Alter von 0 - 4 Monaten mit Frequenzen von 50 - 65/min, 4 Kinder im Alter von 6 Monaten - 1 Jahr, 5 Monate mit Frequenzen von 22 - 44/min und 6 Kinder im Alter von 2 - 5 Jahren mit Frequenzen um 25/min beatmet werden mußten, um eine Hypoventilation zu vermeiden.

Die Kontrolle der I n s p i r a t i o n s l u f t mit dem URAS-M im Fraktionsverfahren ermöglicht die Einstellung einer ausreichenden Frischgaszufuhr zur Vermeidung einer Rückatmung beim Spülsystem (AYRE-MAGILL). Bis zum Alter von 8 Tagen (3 Fälle) betrug die Mindestzufuhr 5,3 l O_2 + N_2O/min bis 6,7 l O_2 + N_2O/min, im Alter von 7 Wochen bis 6 Monaten (5 Fälle) 10,0 l O_2 + N_2O/min bis 11,0 l O_2 + N_2O/min, im Alter von 1 Jahr, 5 Monate bis 2 Jahre, 9 Monate (5 Fälle) 12,5 l O_2 + N_2O/min bis 13,0 l O_2 + N_2O/min. Bei einem Kind von 4 Jahren läßt eine Rückatmung von 0,3 bis 0,5 % CO_2 bei der höchsten am Narkoseapparat einzustellenden Frischgaszufuhr von 17 l O_2 + N_2O/min die Grenze der Anwendbarkeit des Spülsystems vermuten.
Einzelbeobachtungen während der Narkose von 4 Säuglingen im Alter von 3 Wochen bis 6 Monaten und einer fünftägigen künstlichen Beatmung eines Neugeborenen unterstreichen den Wert einer Kontrolle der Beatmung durch fortlaufende und gleichzeitige CO_2-Messung.

Die bei Säuglingen und Kleinkindern erhobenen Befunde zeigen, daß mit Hilfe des Fraktionsverfahrens die Kontrolle des alveolären CO_2-Gehalts bei Beatmung auch während der Anaesthesie nunmehr möglich und praktikabel ist.

VIII. Literaturverzeichnis.

1. Bartels, H., E.Bücherl, C.W.Hertz, G.Rodewald und M.Schwab: Lungenfunktionsprüfungen, Springer, Heidelberg (1959)
2. Blömer, A. und N.Hahn: Atemwerte der Neugeborenen, Säuglinge und Kinder bis zu 6 Jahren, Zschr. f. Kinderheilkunde 87, 466-471 (1963)
3. Brock, J.: Biologische Daten für den Kinderarzt I, S. 430, Springer, Heidelberg (1954)
4. Comroe, J.H., R.E.Forster, A.B.Dubois, W.A.Briscoe und E. Carlsen: Die Lunge. F.K.Schattauer, Stuttgart (1964)
5. Ewerbeck, H.: Der Säugling. Springer, Heidelberg (1960)
6. Frey, R., E.Kolb und U.Henneberg: Allgemeine Anaesthesie, in Handbuch der plastischen Chirurgie, Bd.I, herausgegeben von Gohrbandt, Gabka und Berndorfer Walter de Gruyter, Berlin (1965)
7. Göpfert, H. und R.Frey: Ein schnellanzeigendes Meßgerät für die Kohlensäure in der Ausatemluft. Langenbecks Arch. 279, 803-809 (1954)
8. Göpfert, H. und U.Henneberg: Der Anstieg der CO_2-Konzentration in der Exspirationsluft im Verlauf einzelner Atemzüge. Pflügers Arch. 263, 1-22 (1956)
9. Göpfert, H. und U.Henneberg: Die unmittelbare Feststellung der alveolären CO_2-Konzentration bei normaler Atmung und nach Atemstillstand mit einem kleinkammerigen Absorptionsschreiber. Anaesthesist 6, 15-19 (1957)

10. Hahn, N. und A.Blömer: Das Pneumotachogramm bei Kindern bis zu 6 Jahren. Pflügers Arch. 276, 545-554 (1963)

11. Henneberg, U.: Über physiologische und klinische CO_2-Messungen in der Exspirationsluft mit dem URAS-M. Diss. Heidelberg (1955)

12. Henneberg, U. und E.Kolb: Zur Wechseldruckbeatmung intubierter Säuglinge und Kleinkinder mit dem Spülsystem in Kombination mit einem Pulmomaten. Anaesthesist 13, 55-56 (1964)

13. Henneberg, U.: Zur Problematik der fortlaufenden CO_2-Messung in der Atemluft bei Säuglingen und Kleinkindern. Kli.Wschr. 43, 1178-1181 (1965)

14. Kolb, E. und W.Raule: Über die Entwicklung der Anaesthesieverfahren. Anaesthesist 9, 318-325 (1960)

15. Kolb, E.: Grundzüge der neuzeitlichen Narkoseverfahren. Dt.Med.J. 24, 835-839 (1963)

16. Luft, K.F.: Über eine neue Methode der registrierenden Gasanalyse mit Hilfe der Absorption ultraroter Strahlen ohne spektrale Zerlegung. Zschr. Techn. Physik, Bd.5 (1943)

17. Nicole, R.: Chirurgie des Säuglings. Anaesthesist 9, 83-91 (1960)

18. Rossier, P.H., A. Bühlmann und K.Wiesinger: Physiologie und Pathophysiologie der Atmung. Springer, Heidelberg (1956)

19. Sauerwein, W.: Narkoseprobleme bei Säugling und Kleinkind. Z'blatt Chirurgie 87, 1196-1204 (1962)

20. Smith, C.A.: The physiology of the newborn infant. Charles C. Thomas-Publisher, Springfield/Ill.(1959)

21. Smith, R.M.: Anesthesia for infants and children. The C.V.Mosby Comp., St.Louis (1959)

22. Stoffregen, J.: Atmungs- und Beatmungsprobleme bei der Kleinkindernarkose.
Anaesthesist 9, 300-301 (1960)

23. Wenner, J., R.Beer und E.Doll: Die arteriellen Kohlensäurewerte des Säuglings und ihre Berechnung aus blutgasanalytischen Daten, die im Blut des Sinus sagittalis superior bestimmt wurden.
Arch. f. Kinderheilkunde 156, 7 (1958)

IX. Abbildungen

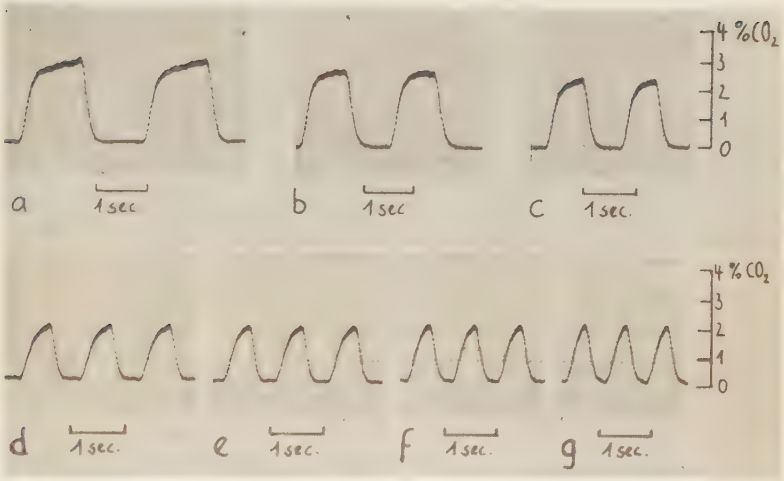


Abb. 1: CO_2-Messung mit dem URAS-M im Nebenstromverfahren bei einem 2,5 Jahre alten, 9700 g schweren Kind bei Beatmung mit dem Atembeutel (IPPB) in verschiedenen Beatmungsfrequenzen: a=25, b=32, c=43, d=53, e=60, f=70, g=80/min. Absaugleistung der Pumpe 120l/h. Ab einer Frequenz von 53/min während der Exspiration keine sichere Plateaubildung, während der Inspiration erreicht die Kurve nicht mehr die Nullinie.

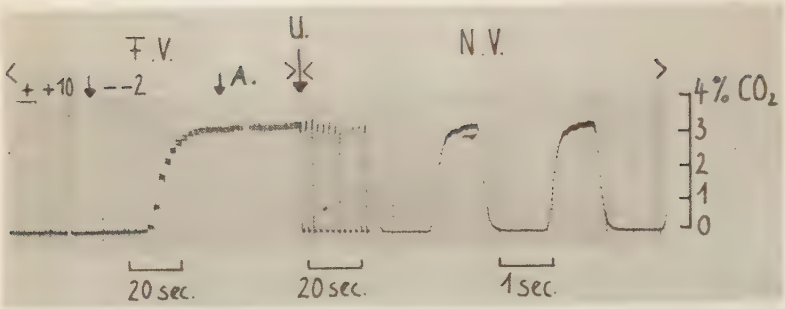


Abb. 2: CO_2-Messung mit dem URAS-M bei einem 2,75 Jahre alten, 15 kg schweren Kind bei automatischer Beatmung (Druckwerte von -2 bis +15 cm H_2O) mit dem Dräger-Pulmomat (PNPB) in einer Frequenz von 30/min. F.V.: Messung im Fraktionsverfahren mit dem Analysensammler (15/100 sec, 80 l/h). Kontrolle der Inspiration bei Stellung ++10. Bei Markierung --2 Änderung der Einstellung auf --2 zur Bestimmung der Alveolarluft. Bei A Erreichen des Alveolarluftwertes (Latenzzeit). Bei U Umschaltung auf das Nebenstromverfahren (N.V.). Bei langsamer und schneller Schreibung werden die gleichen Extremwerte für Exspiration und Inspiration wie beim F.V. erreicht.

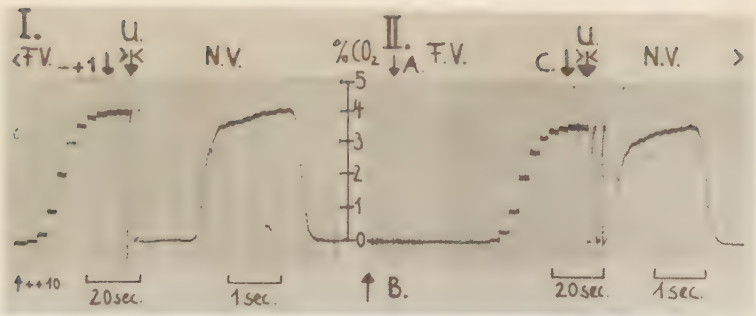


Abb. 3: I: CO_2-Messung bei einem Erwachsenen. Beatmung mit dem Atembeutel (IPPB) in einer Frequenz von 17/min. F.V.: Fraktionsverfahren mit dem A.S.. ++10: Der bei Stellung des A.S. auf ++10 registrierte inspiratorische Wert. -+1: Der bei Stellung -+1 gemessene Alveolarluftwert. Impulsdauer 15/100 sec, Absauggeschwindigkeit 80 l/h. Nach Umschaltung (U) auf das Nebenstromverfahren (N.V.) werden bei langsamer und schneller Schreibung gleiche Extremwerte für Exspiration und Inspiration wie beim F.V. erreicht.

II: CO_2-Messung bei einem Erwachsenen. Automatische positiv-negative Druckbeatmung (Drucke von -5 bis 12 cm H_2O, Atemzugvolumen 500 ml, Atemfrequenz 16/min). F.V.: Messung im Fraktionsverfahren, 15/100 sec, 100 l/h Absauggeschwindigkeit. A: Registrierung der Inspiration nach A.S.-Einstellung auf ++5 bis vor 10 sec. B.: Änderung auf Stellung --5 zur Messung der Alveolarluft. Anzeige der Alveolarluft bei C. (B-C = Latenzzeit). Bei U. Umschaltung auf das Nebenstromverfahren (N.V.). Die bei langsamer und schneller Schreibung erhaltenen inspiratorischen und exspiratorischen Werte stimmen bei beiden Verfahren überein.

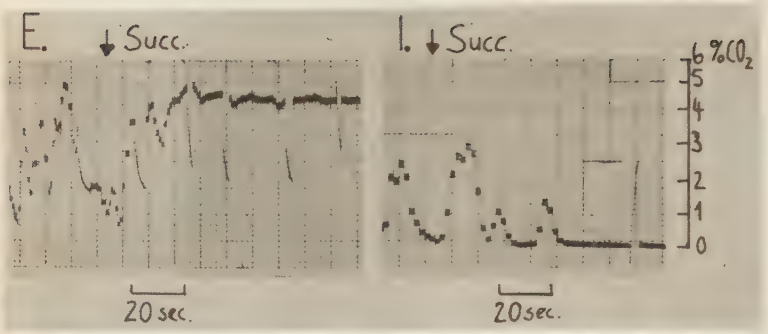


Abb. 4: Fraktionsverfahren bei einem 4 Monate alten Kind. Gewicht 6350 g. Automatische Beatmung mit dem Dräger-Pulmomat (Drucke von -10 bis + 20 cm H_2O) (PNPB).

E.: Beeinträchtigung der Registrierung der Alveolarluft (A.S.-Stellung auf --10, 15/100 sec, Absaugleistung 100 l/h) durch unzureichende Relaxation. Nach Gabe von 7 mg Succinyldicholin (Succ.) reguläre Werte.

I.: Störung der Messung der Inspiration (A.S.-Stellung auf ++10, 15/100 sec, 80 l/h Absaugleistung) durch ungenügende Relaxation. Nach Gabe von 7 mg Succinyldicholin (Succ.) werden konstante Werte erreicht.

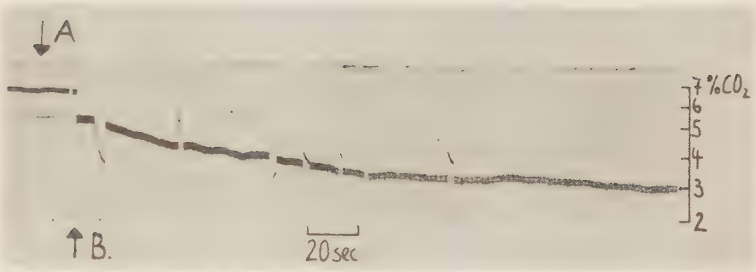


Abb. 5: CO_2-Messung im Fraktionsverfahren bei einem 4 Wochen alten, 4400 g schweren Säugling. Beatmung mit dem Atembeutel (IPPB).
A.: Wegfall der Belastung des Thorax.
Bei B. wird das Papier ca. 1 Minute nicht gefördert (direkte Ablesung auf dem Anzeigegerät). Stellung -+1, 15/100 sec, 80 l/h Absaugleistung.

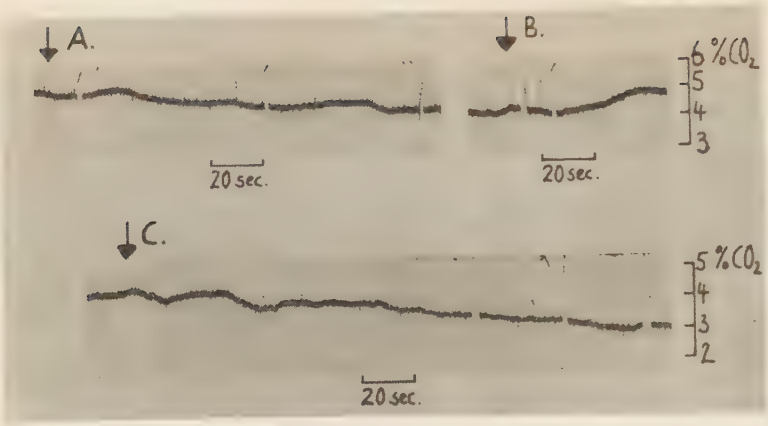
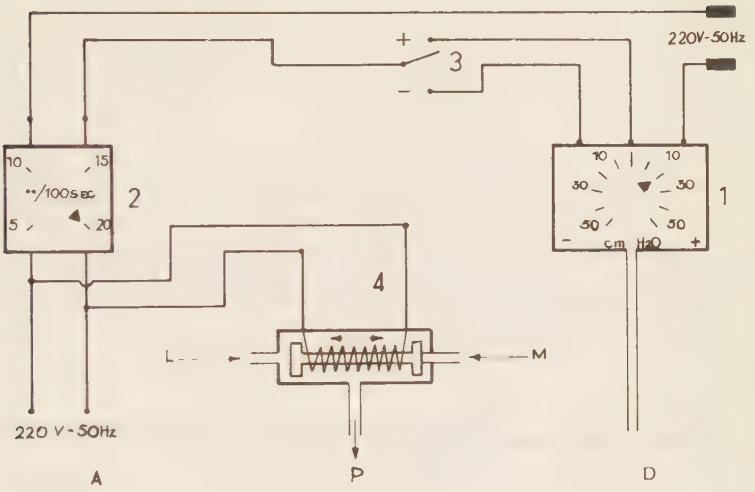


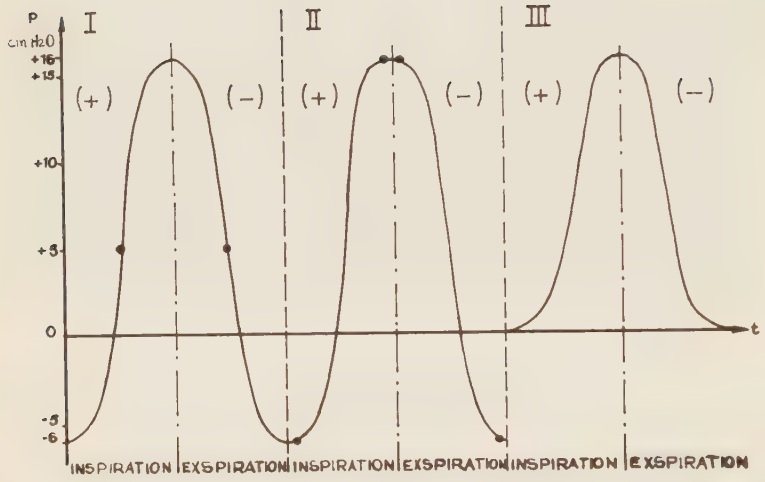
Abb. 6: CO_2-Messung im Fraktionsverfahren bei einem 5200 g schweren, 3 Monate alten Säugling. Beatmung mit dem Atembeutel (IPPB). A.S.-Einstellung auf -+1, 15/100 sec, 80 l/h Absaugleistung.
A.: Entfernung des Spatels. Abfall der CO_2 von 5,1 auf 4,2 % innerhalb 2,5 Minuten bei einer Frequenz von 52/min.
B.: Einlegen des Spatels. Wiederanstieg der CO_2 innerhalb einer Minute auf 4,9 % (Frequenz 52/min).
C.: Entfernung des Spatels am Ende der Operation. Abfall der CO_2 bei einer Frequenz von 60/min von 4,4 auf 3,0 % innerhalb 3,5 Minuten.

An den Stellen, an welchen bei den obenstehenden Abbildungen die Schreibung für einen kurzen Augenblick unterbrochen ist und sich eine nach oben- oder untengehende Zacke befindet, wurde auf das Anzeigegerät umgeschaltet, um den CO_2-Wert direkt ablesen zu können.

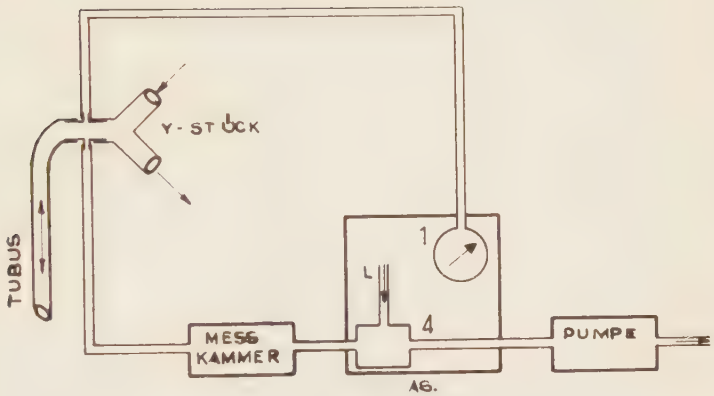
X. Zeichnungen



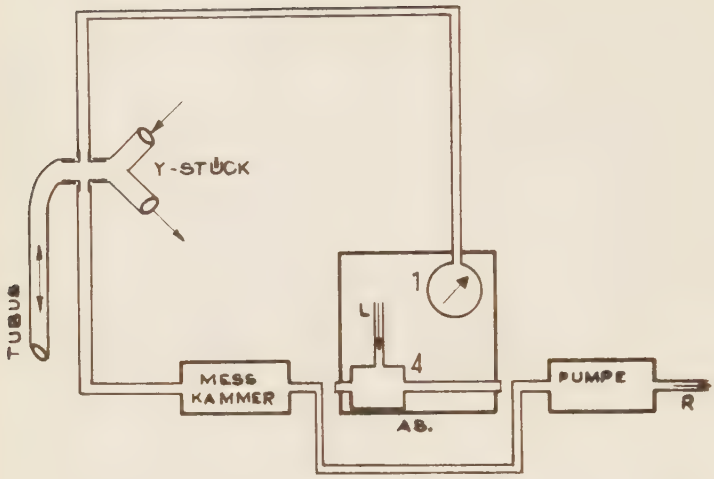
Zeichnung 1: Schaltschema des Analysensammlers: 1 Druckschalter, 2 Zeitrelais, 3 Umschalter, 4 Magnetventil. A Anschlußmöglichkeit zur Entnahme der erzeugten Stromimpulse. D Druckzuleitung vom Beatmungssystem. L während der Ruhestellung des Ventils offene Luftzufuhr für die Pumpe. M Eingang von der Meßkammer, in Ruhestellung des Ventils geschlossen. P Ausgang zur Pumpe.
Näheres im Text.



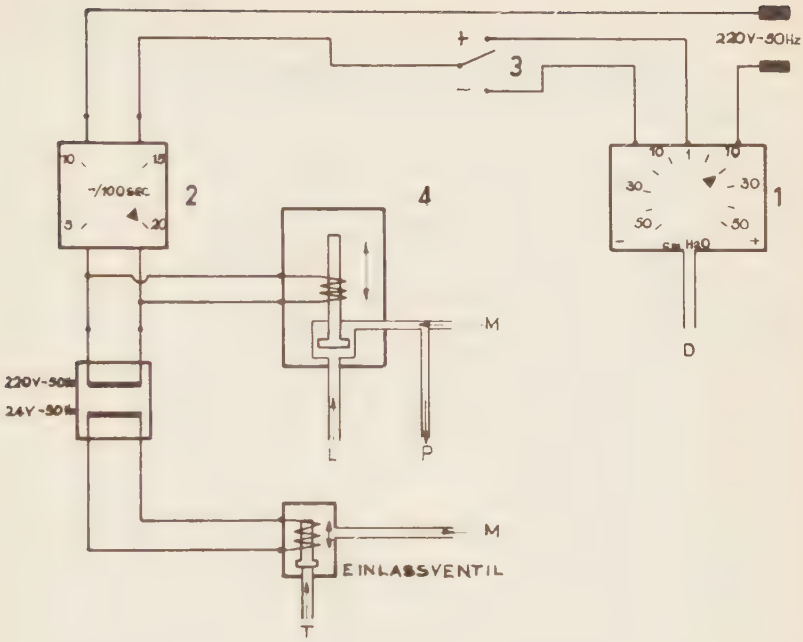
Zeichnung 2: Hypothetische Beatmungsdruckkurven.
(+): Umschalter 3 auf +Stellung.
(-): Umschalter 3 auf -Stellung.
Näheres im Text.



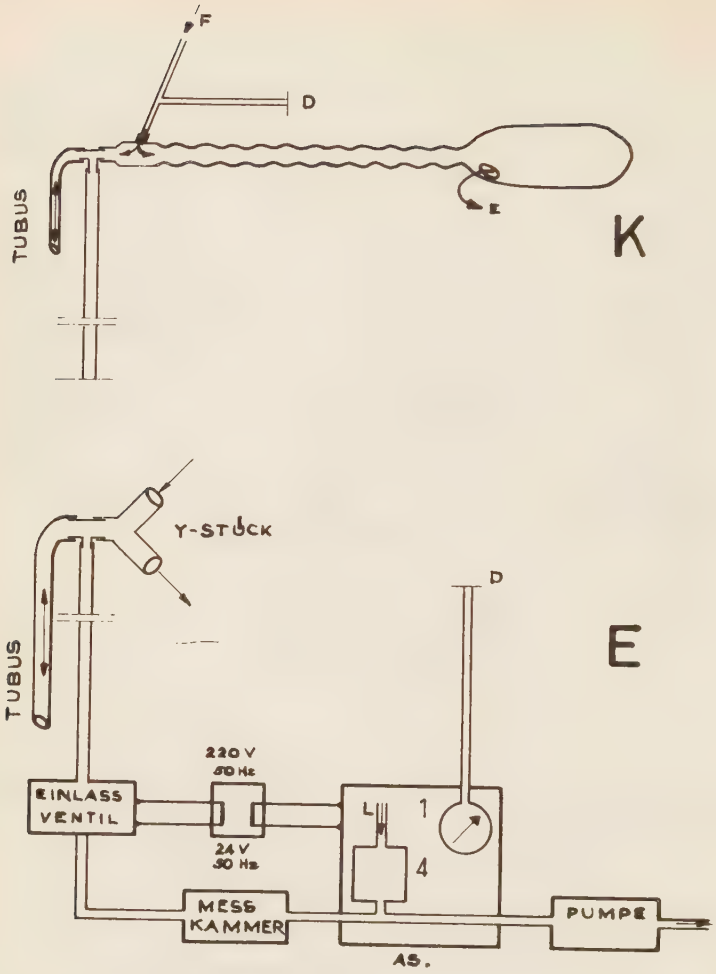
Zeichnung 3: Anordnung zur CO_2-Messung mit URAS-M und Analysensammler (AS) im Fraktionsverfahren beim Erwachsenen. 1 Druckschalter, 4 Magnetventil. L: Luftzufuhr für die Pumpe während Ruhestellung des Ventils. Ausführliche Beschreibung im Text.



Zeichnung 4: Anordnung zur Kontrollmessung der CO_2 mit dem URAS-M im Nebenstromverfahren beim Erwachsenen. Der Analysensammler (AS) ist eingezeichnet, aber ausgeschaltet (Magnetventil 4 außer Funktion). Die Zuleitung zum Druckschalter 1 ist belassen. Bei R. Rückführung des Analysengases ins Beatmungssystem. Nähere Beschreibung im Text.



Zeichnung 5: Schaltschema des Analysensammlers mit in der Funktion geändertem Magnetventil 4 und über einen Transformator parallel geschaltetem als Einlaßventil dienendem Miniventil.
1 Druckschalter, 2 Zeitrelais, 3 Umschalter.
D. Druckzuleitung vom Beatmungssystem.
L Während der Ruhestellung des Ventils offene Luftzufuhr für die Pumpe. M von bzw. zur Meßkammer. P zur Pumpe. T von der Ableitungsstelle am Tubus.
Näheres im Text.

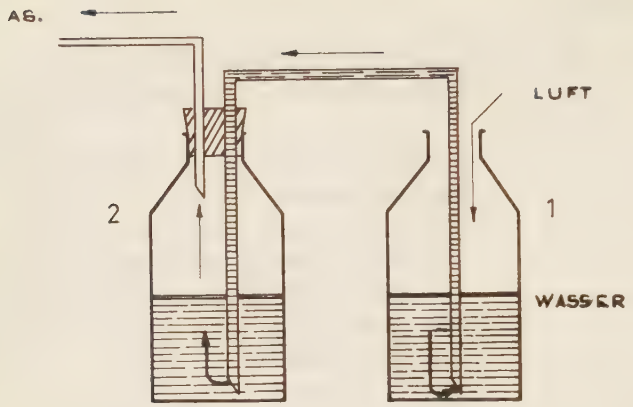


Zeichnung 6: Endgültige Anordnung zur CO_2-Messung mit dem URAS-M im Fraktionsverfahren mit abgeändertem Analysensammler (AS) und über einen Transformator parallel geschaltetem Einlaßventil. 1 Druckschalter, 4 geändertes Magnetventil.

Fortsetzung zu

Zeichnung 6: E: Anordnung beim Erwachsenen.
D Druckzuleitung vom Beatmungssystem.

K: Anordnung beim Kind bei Beatmung mit dem Spülsystem.
D Druckzuleitung zum Druckschalter 1.
E variable Stenose am Atembeutel, an welcher überflüssiges Frischgas und Exspirationsgemisch entweichen können.
F Frischgaszufuhr.
Näheres im Text.



Zeichnung 7: Anordnung zur Bestimmung des Volumens der mit dem Analysensammler (AS) abgesaugten Gasmenge. Zu Beginn der Messung befand sich der Wasserspiegel der gefüllten Flasche 1 in Höhe des Bodens der leeren Flasche 2, die dicht verschlossen ist. Der Analysensammler saugt aus Flasche 2 Luftportionen an. In gleicher Menge tritt Wasser aus Flasche 1 in Flasche 2 über, dessen Menge bestimmt wurde. Während des Versuchs wird die Höhe von Flasche 1 so geändert, daß der Wasserspiegel in beiden Flaschen auf gleichem Niveau bleibt.

Herrn Professor Dr. Kolb danke ich für die Möglichkeit, an der Anaesthesieabteilung der Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin experimentell zu arbeiten. Ihm und Herrn Oberarzt Dr. Henneberg verdanke ich nicht nur Anregung und Anleitung zu meiner Arbeit, es wurde mir vielmehr auch klar und überzeugend ärztliche Haltung und wissenschaftliches Denken vor Augen gebracht.

Lebenslauf

Als Sohn des Dr.med. Paul Schulz und seiner Ehefrau Dr.med.dent. Margarete Schulz, geb. Sodomann, wurde ich am 15. April 1941 in Bielitz/Oberschlesien geboren.
Nach dem Zusammenbruch kam die Familie nach Heddesheim, Kreis Mannheim, wo ich im Herbst 1947 eingeschult wurde. Ostern 1951 wechselte ich an das Realgymnasium in Viernheim über, welches ich am 25. Februar 1960 mit dem Reifezeugnis verließ.
Mein Medizinstudium begann ich im Sommersemester 1960 an der Universität München, legte dort im April 1961 das Vorphysikum und im Juli 1962 das Physikum ab. Nach dem 1. klinischen Semester in München führte ich mein Studium an der Freien Universität Berlin fort und bestand am 1. April 1966 die ärztliche Prüfung.